

# ПРИРОДА



64968\*



Форель идет на нерест по речке Аксай (Киргизия)

Фото ТАСС

# ПРИРОДА

6

1968

Ежемесячный популярный  
естественно-научный журнал  
Академии наук СССР  
Основан в 1912 году

Издательство «Наука», Москва

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор академик Н. Г. БАСОВ

Академик Б. Л. АСТАУРОВ (зам. главного редактора)

Доктор биологических наук А. Г. БАННИКОВ

Академик А. И. БЕРГ

Академик А. П. ВИНОГРАДОВ

Член-корреспондент АН СССР Б. Н. ДЕЛОНЕ

Член-корреспондент АН СССР Л. А. ЗЕНКЕВИЧ

Доктор физико-математических наук С. П. КАПИЦА

Академик Б. М. КЕДРОВ

Академик И. К. КИКОИН

Член-корреспондент АН СССР В. Л. КРЕТОВИЧ

Доктор физико-математических наук Б. В. КУКАРКИН

Доктор философских наук Г. А. КУРСАНОВ

Доктор географических наук К. К. МАРКОВ

Доктор философских наук Н. Ф. ОВЧИННИКОВ

Академик В. В. ПАРИН

В. М. ПОЛЫНИН (ответственный секретарь)

Доктор геолого-минералогических наук Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ  
(зам. главного редактора)

Доктор геолого-минералогических наук М. А. ФАВОРСКАЯ

Кандидат технических наук А. С. ФЕДОРОВ (зам. главного  
редактора)

Доктор биологических наук К. К. ФЛЕРОВ

Доктор биологических наук А. Н. ФОРМОЗОВ

Академик Г. М. ФРАНК

Доктор физико-математических наук Д. А. ФРАНК-КАМЕНЕЦ-  
КИЙ (зам. главного редактора)

Член-корреспондент АН СССР В. Е. ХАИН

Академик Н. В. ЦИЦИН

Доктор географических наук Л. А. ЧУБУКОВ

Кандидат физико-математических наук Н. В. ШЕБАЛИН

Доктор биологических наук А. В. ЯБЛОКОВ

Художественный редактор В. Е. Валериус

Технический редактор Д. И. Скляр

Корректоры Р. Н. Сидорина, И. К. Шатуновская

Адрес редакции: Москва, Ж-127, ул. Осипенко, 52

тел. В-1-76-80

Подписано к печати 6/VI-1968 г. Т-08821

Формат бумаги 84×108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>

Печ. л. 8+1 вклейка

Уч.-изд. л. 16,4 Бум. л. 4

Тираж 44 000 экз. Зак. 344

2-я типография издательства «Наука», Москва, Г-99,

Шубинский пер., 10

## В номере

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Принципы простоты и симметрии. Е. А. Мамчур, Н. Ф. Овчинников . . . . .       | 2  |
| Квазары — загадка Вселенной. Г. С. Бисноватый-Коган, Б. В. Комберг . . . . .  | 12 |
| Мировой океан и его будущее. С. В. Михайлов . . . . .                         | 24 |
| Микроудобрения. Я. В. Пейве . . . . .                                         | 32 |
| Электронаркоз: факты, гипотезы, перспективы. К. А. Иванов-Муромский . . . . . | 39 |
| Природа информации. А. Д. Урсул . . . . .                                     | 48 |
| Световая искра — миниатюрный взрыв. Г. А. Аскарьян, Ю. П. Райзер . . . . .    | 60 |
| Генетическая транскрипция. Г. П. Георгиев . . . . .                           | 66 |

## Научные сообщения

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Камень вместо металла. Г. М. Давыдов. . . . .                       | 80 |
| Деревья — индикаторы склоновых процессов. В. И. Турманина . . . . . | 83 |
| Черноплодная рябина. В. И. Проценко . . . . .                       | 85 |

## Дискуссии

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| Загадка «Сибирской тьмы». Ю. М. Емельянов . . . . . | 87 |
|-----------------------------------------------------|----|

## Экспедиции, путешествия

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| С аквалангом в кратере вулкана. К. К. Зеленов . . . . . | 92 |
|---------------------------------------------------------|----|

## Из истории науки

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Академическим экспедициям — 200 лет. Е. В. Ястребов . . . . . | 97 |
|---------------------------------------------------------------|----|

## Очерки

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| Жемчужные выюрки. Р. Л. Потапов. . . . . | 104 |
|------------------------------------------|-----|

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| Заметки, наблюдения . . . . . | 109 |
|-------------------------------|-----|

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| Новости науки . . . . . | 110 |
|-------------------------|-----|

|                 |     |
|-----------------|-----|
| Книги . . . . . | 122 |
|-----------------|-----|

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| Календарь природы . . . . . | 125 |
|-----------------------------|-----|

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| В конце номера . . . . . | 128 |
|--------------------------|-----|

# Принципы простоты и симметрии

Е. А. Мамчур  
Кандидат философских наук  
Н. Ф. Овчинников  
Доктор философских наук



Елена Аркадьевна МАМЧУР — научный сотрудник Института философии АН СССР; занимается разработкой методологических проблем современного естествознания, в частности проблемы индуктивной простоты. В 1966 г. опубликовала работу «Проблема критерия простоты научных теорий».



Николай Федорович ОВЧИННИКОВ — старший научный сотрудник Института философии АН СССР, специалист в области философских вопросов естествознания. Автор работ по методологическим проблемам физики. Недавно вышедшая книга (1966 г.) «Принципы сохранения» посвящена теоретическому анализу законов сохранения в физике, понятию симметрии и категории структуры.

По крайней мере до настоящего момента опыт науки свидетельствовал о том, что исследователю не удастся сделать шага к обобщению, не сделав в то же время шага к простоте.

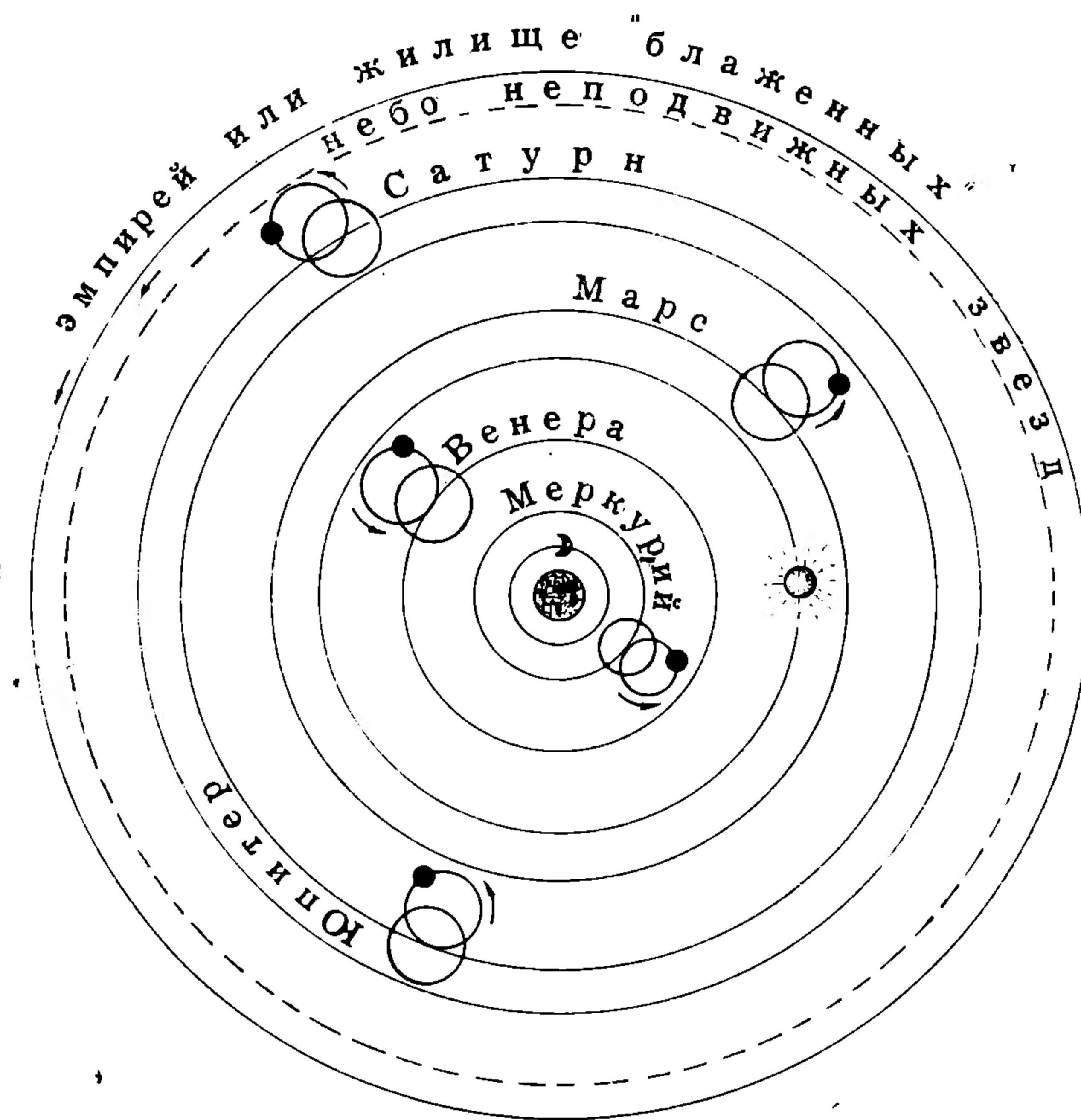
Л. Гершель

Мы, люди XX века, живем в особенно сложном мире и считаем это естественным. Нам привычен и сложный мир науки. Нет ничего удивительного в том, что от науки мы требуем прежде всего истинности, а не простоты. Истинности! Но именно это требование и ведет нас к поискам тех критериев, которые позволили бы выбрать среди множества теоретических построений верные решения волнующих научных проблем. Всматриваясь в далеко не простой ход развития естествознания, мы замечаем, что путь к научной истине всегда связан с требованием максимально достижимой простоты теоретических решений. Первоначально это требование применяется в научной полемике просто как довод среди других аргументов против конкурирующих концепций. В истории философии и естествознания можно найти множество примеров, когда применялось это требование простоты, и проследить, каким образом оно, принимая различные формы, в конце концов осознается как методологический принцип научного познания.

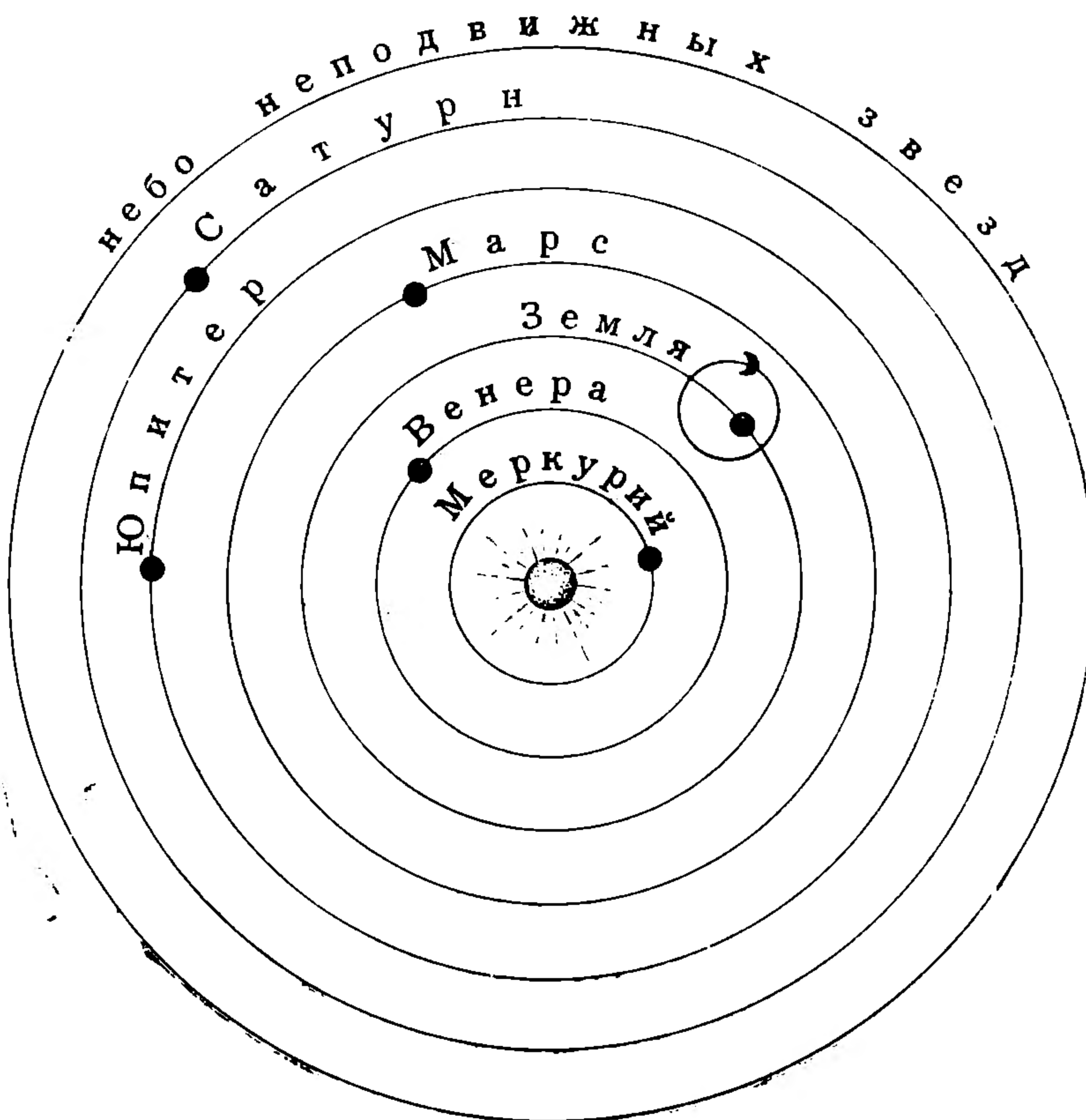
## Принцип простоты в истории познания природы

Одно из первых применений принципа простоты может быть найдено еще в античной философии. Решая насущную проблему своей эпохи, проблему объяснения непрестанно изменяющегося мира явлений, Платон выдвинул концепцию предвечного мира идей. Аристотель был вынужден подвергнуть основательной критике теорию своего учителя. «Платон мне друг, но истина еще больший друг» — эти знаменитые слова, приписываемые в связи с этой полемикой Аристотелю, стали символом научной беспристрастности. Один из убедительных аргументов Аристотеля против концепции Платона состоял в том, что введение особого предвечного мира идей означает удвоение, иначе — усложнение теоретической картины: вместо объяснения мира явлений — постановка новых проблем, требующих в свою очередь объяснения.

Средневековый философ Уильям Оккам сформулировал требование простоты в виде методологического правила: «Сущности не должны быть умножаемы без необходимости». Согласно этому правилу, получившему название «бритвы Оккама», необходимо безжалостно отбрасывать, «сбривать» все излишние теоретические построения. Правило «бритвы Оккама» сыграло важную роль в борьбе против различного рода представлений средневековой эпохи о скрытых качествах, суб-



Система мира Птолемея. На рис. показаны только главные эпициклы. Общее же число кругов в этой системе к XIII в. достигало уже 75. Все увеличивающаяся сложность системы Птолемея вызывала сомнение в ее истинности. Король Альфонс X Кастильский на астрономическом конгрессе в Толедо в 1250 г. заявил учёным: «Если бы господь бог при сотворении мира сделал мне честь спросить моего совета, то многое было бы создано получше, а главное — попроще». За свое сомнение король впоследствии заплатил короной



Система мира Коперника. Земля здесь стала одной из известных к тому времени шести планет, вращающихся вокруг Солнца. Общая картина движения планет в этой системе значительно проще, чем в системе Птолемея. Однако Копернику не удалось полностью избавиться от эпициклов. Дальнейшее упрощение системы, связанное с окончательным устранением эпициклов, было осуществлено исследованиями Кеплера

станциальных формах и т. п. Методологическое правило Оккама было одним из первых требований эмпирического метода, который оказал решающее влияние на развитие зарождавшегося естествознания.

В более позднее время веру в эвристическую силу простоты неоднократно выражали такие крупные естествоиспытатели, как Ньютон и Лаплас, Лейбниц и Френель, Гершель и Пуанкаре. Требование не искать других причин сверх тех, которые истинны и достаточны для объяснения явлений, Ньютон провозгласил в качестве важнейшего правила умозаключений в физике. Его основание Ньютон видит в том, что «сама природа проста и не роскошествует излишними причинами вещей»<sup>1</sup>. Этим правилом обязан руководствоваться каждый исследователь в своих научных поисках.

Убеждение великого английского физика в простоте мира разделяли многие его современники и последователи. Они не стремились, разумеется, к произвольному упрощению процесса познания природы, но видели эту простоту в тенденции динамизма Вселенной к своеобразной экономии действия. «Природа,— писал Лаплас,— при бесконечном разнообразии своих действий проста только в своих причинах, и мы видим в ней небольшое число законов, рождающих огромное количество явлений часто весьма сложных...»<sup>2</sup>.

Простота природы в представлении естествоиспытателей XVII—XIX вв. сближается с внутренней гармонией, или симметрией Вселенной, с наличием в ней закономерности, строгой детерминированности. Убеждение в том, что за кажущимся беспорядком непрерывно изменяющихся вещей и явлений скрыта закономерная упорядоченность, которая дает возможность понять и познать их, всегда направляло и продолжает направлять исследования ученых. «Вера во внутреннюю гармонию в прошлом приносила свои плоды,— пишет А. Салам, один из известных физиков-теоретиков,— я уверен, что так будет и в будущем»<sup>3</sup>.

Многие крупные естествоиспытатели не только размышляли над природой простоты, но и непосредственно руководствовались ею как принципом в своих исследованиях. Ньютон, объединив открытые к тому времени различные законы небесной механики на основе закона всемирного тяготения, действовал сообразно им же сформулированному правилу простоты. Известно, что Коперник, ниспровергая геоцентрическую систему мира Птолемея и защищая гелиоцентрическую, в значительной степени связывал свои теоретические аргументы с идеей простоты. В системе мира Птолемея каждой планете приписывалось круговое движение вокруг Земли. Но в наблюдаемом движении планет по небесному своду давно уже были замечены нерегулярности, попятные движения, точки стояния. Объяснение

этих нерегулярностей долгое время составляло труднейшую проблему астрономии.

В системе Птолемея для объяснения этого явления пришлось допустить, что каждая планета движется в пространстве по некоторому кругу меньшего радиуса (по эпициклу), центр которого в свою очередь движется по большому кругу (деференту) вокруг Земли. Вскоре обнаружилось, что одного этого допущения недостаточно для объяснения наблюдаемого движения планет. Пришлось для каждой планеты ввести вторичный эпицикл, центр которого движется по первому эпициклу и только центр последнего — по деференту вокруг Земли. Так число эпициклов в системе Птолемея продолжало увеличиваться с уточнением данных наблюдения. В конце концов, как утверждают, сам Птолемей вынужден был признать все возрастающую сложность своей системы: «Легче, кажется, двигать самые планеты, чем постичь их сложное движение».

Коперник, создавая свою систему мира, основанную на тех же наблюдениях, что и система Птолемея, обошелся при объяснении движения планет единственной гипотезой: Земля не покоится в центре мира, а подобно другим планетам обращается вокруг центрального светила — Солнца. Из этой, более простой, структурной картины мира естественно вытекало объяснение видимого нерегулярного движения планет. И хотя первоначально Копернику не удалось полностью избавиться от эпициклов, тем не менее в его системе число эпициклов сократилось до минимума, что значительно упростило ее теоретическое объяснение.

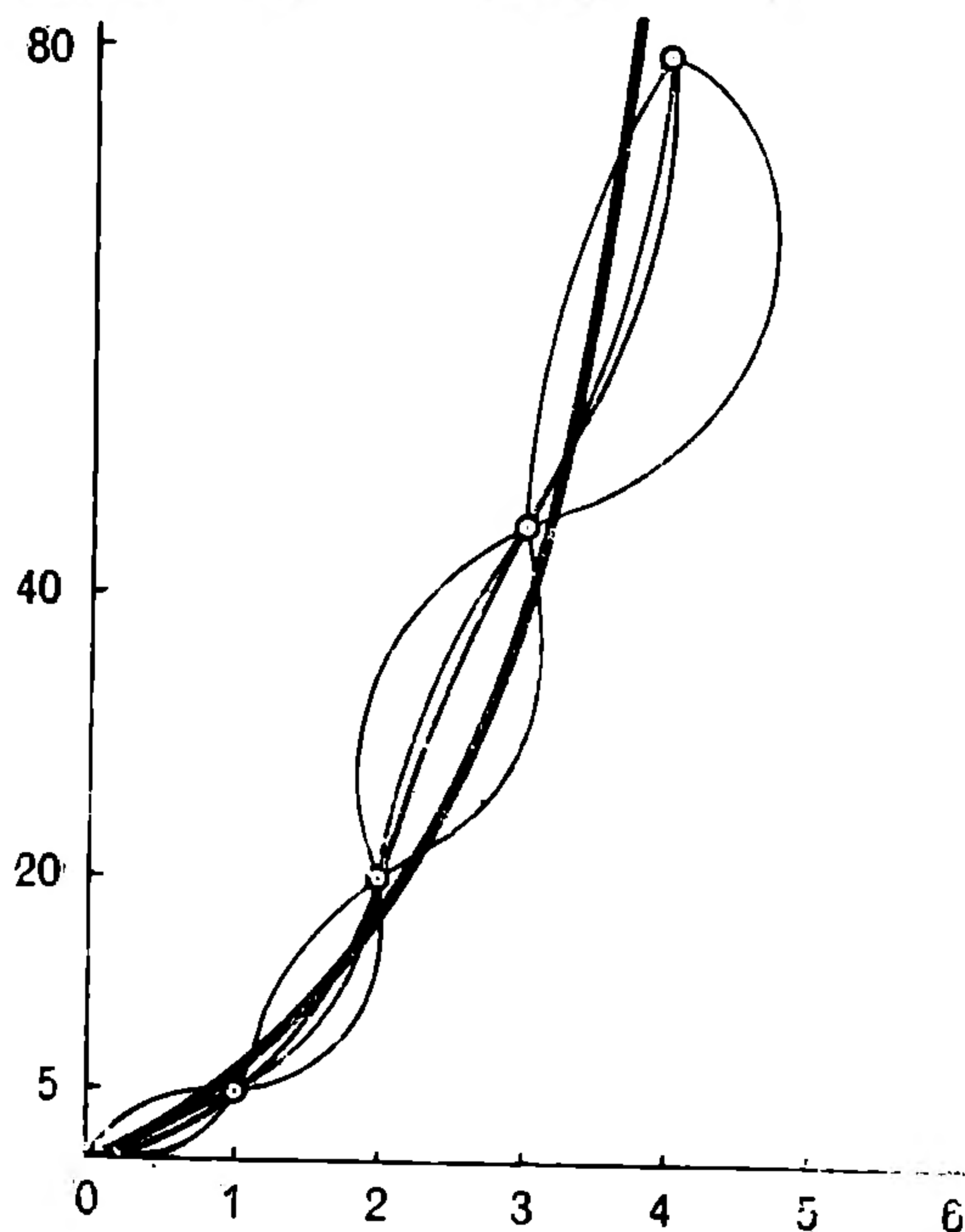
Принцип простоты сознательно использовал в начале XIX в. выдающийся французский физик О. Френель. Делая выбор между конкурирующими волновой и корпускулярной теориями света, Френель отдал предпочтение волновой теории на том основании, что она все открытые к тому времени оптические явления объясняла совершенно естественно, исходя из основных своих посылок, тогда как корпускулярная теория должна была прибегать к многочисленным искусственным построениям. Проявление идеи простоты как методологического принципа мы находим и в физике XX столетия. Эйнштейн при построении своей теории тяготения (общей теории относительности) исходил именно из требования простоты: закон движения сводился просто к тому, что в искривленном пространстве движение всегда происходит по кратчайшему пути. Эйнштейн отмечал, что, хотя специальная теория относительности очень хорошо согласуется с данными эксперимента, тем не менее она не является простейшим из возможных обобщений этих данных. Таким обобщением, по его мысли, и явилась общая теория относительности.

Число подобных примеров, взятых из истории науки, можно было бы умножить. Правда, чаще всего принцип простоты использовался на интуитивном уровне и различными исследователями наполняли его разным содержанием. Несмотря на длинный послужной список, принцип простоты долгое время не был предметом специального методологического анализа. Размышлять всерьез над

<sup>1</sup> И. Ньютон. Математическое начало натуральной философии. В кн. А. Н. Крылов. Собр. трудов, т. VII, М.—Л., 1936, стр. 502.

<sup>2</sup> П. Лаплас. Изложение системы мира, СПб., 1881, т. 1, стр. 74.

<sup>3</sup> Цит. по книге: К. Форд. Мир элементарных частиц. М., 1965, стр. 218.



Кривая, выражающая простой закон  $S = at^2$ , оказывается более близкой к истине, чем любые сложные кривые, проходящие через все экспериментальные точки

этим принципом начали по существу лишь в последние десятилетия. Вероятно, одной из причин такого положения вещей послужило то обстоятельство, что ранее не делалось попыток отделить объективное содержание принципа простоты от тех телеологических и теологических толкований, с которыми его иногда связывали. Известно, например, что П. Л. М. Мопертюи и отчасти Л. Эйлер пытались истолковать открытый в то время принцип наименьшего действия — своеобразное проявление принципа простоты в природе — как ее разумное стремление действовать только наипростейшими путями и средствами. Однако использование принципа простоты в идеалистических концепциях вовсе не лишает его объективного содержания.

Другой, не менее важной, причиной была неоднозначность обычно вкладываемого в понятие простоты смысла. Отождествляя простоту научных теорий и законов лишь с легкостью их усвоения, с доступностью для понимания, многие справедливо считали подобное требование простоты при поисках нового знания абсурдным. К этому можно добавить, что таким образом понятая простота знания имеет субъективный характер, поскольку оказывается зависимой от уровня развития и специальной подготовленности человека.

Следует подчеркнуть, что в методологии науки, говоря о простоте, имеют в виду нечто другое. Анализируя методологическое значение принципа простоты, здесь выделяют и исследуют те свойства теоретических систем, которые могут быть оценены независимо от особенностей того или иного исследователя. Что касается простоты, связанной с понятностью или легкостью усвоения готового знания различными людьми, то такого

рода простота скорее может быть предметом изучения психологии, но не методологии науки.

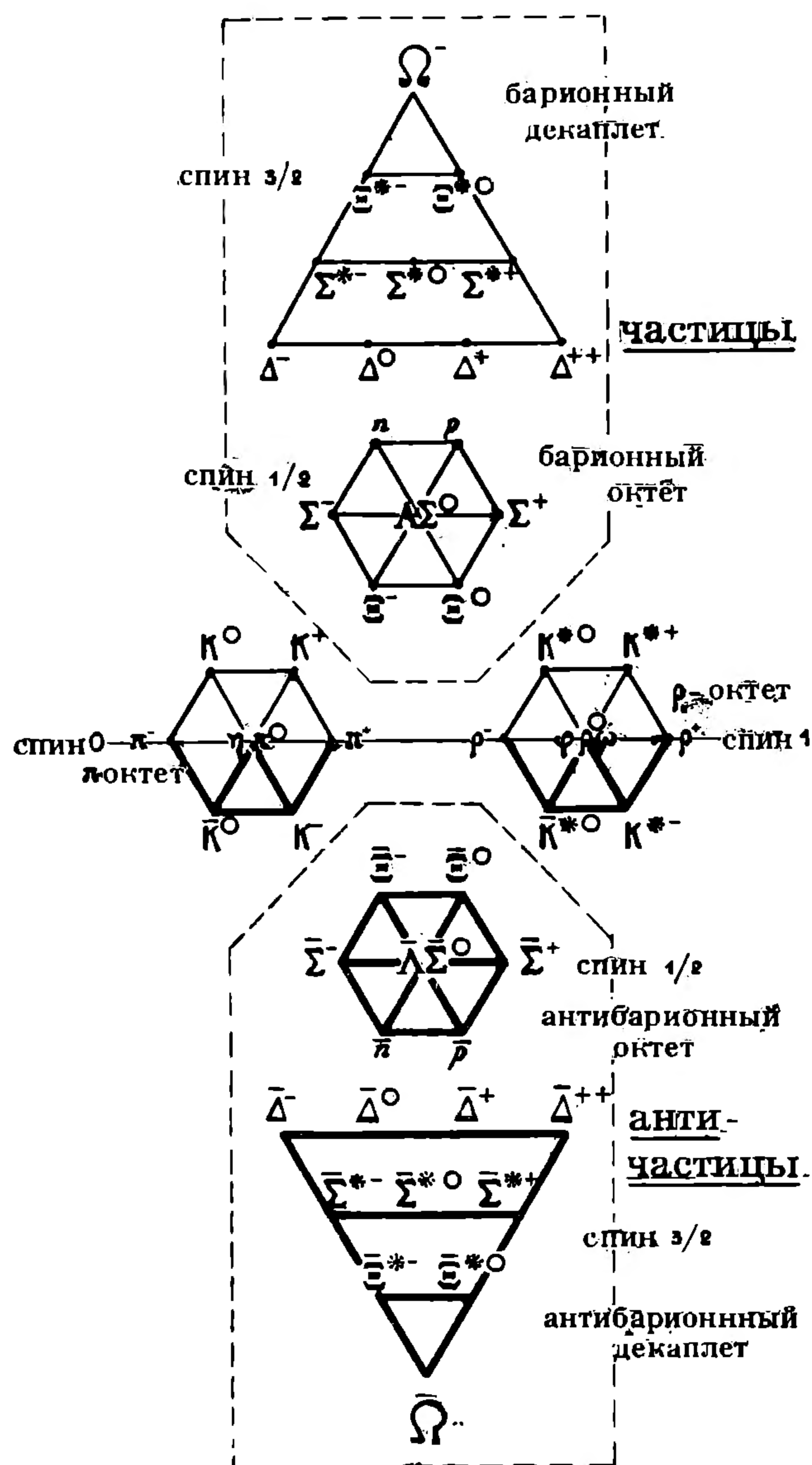
В настоящее время методологическая проблема простоты разрабатывается достаточно широко. Есть работы и в нашей философской литературе<sup>1</sup>.

Выяснилось, что понятие простоты имеет несколько аспектов. Наиболее существенный из них связан с проблемой истины, с анализом процесса открытия нового знания. Такого рода простота получила название индуктивной, в отличие от дескриптивной (описательной) простоты. Дескриптивная простота представляет интерес в связи с поисками оптимальных способов кодирования и хранения научной информации. Индуктивная же простота помогает в выборе теории, адекватной действительности, т. е. имеет эвристическое значение. В таких именно рамках и рассматривается в методологии науки принцип простоты.

### Проблема выбора среди альтернативных теоретических систем

Итак, старейшее методологическое правило звучит как призыв предпочитать наиболее простое из всех возможных объяснений. Что за нелепость, — возмутится нетерпеливый читатель, — выбирать наиболее простое! Единственное требование, которое следует предъявлять к теориям и законам, — их соответствие действитель-

<sup>1</sup> См., например, В. Н. Костюк. Роль принципа простоты в естественно-научных теориях. «Вопросы философии», № 5, 1964 г.; Е. А. Мамчур, Проблема критерия простоты научных теорий. «Вопросы философии», № 9, 1966 г.; А. И. Уемов. Проблема построения общей теории упрощения научного знания. В кн.: «Логика и методология науки», М., 1967 г.; Б. В. Плесский, Л. Н. Терентьева, К проблеме простоты физических законов. Там же.



Все многообразие открытых сейчас элементарных частиц укладывается в симметричную и сравнительно простую схему

ности! Это, конечно, верно. И хорошо известно, что основным, важнейшим критерием такого соответствия является согласие закона или теории с данными опыта. Но ведь можно представить себе такой случай, когда существует несколько теорий, одинаково хорошо удовлетворяющих данным опыта на некотором участке, а необходимо избрать одну из них. Именно в такой часто встречающейся ситуации и появляется необходимость обращения к вторичным критериям истины. Проблема выбора обычно возникает уже в самом тривиальном случае: получен ряд экспериментальных данных — требуется найти связывающую их закономерность. Искомая закономерность может быть представлена как в алгебраической форме — в виде полинома, так и в геометрической — в виде кривой на плоскости. Но один и тот же ряд данных может быть представлен неограниченно большим числом полиномов и, следова-

тельно, множеством кривых. Пусть, например, мы измерили пути, пройденные свободно падающим телом за несколько последовательных промежутков времени, и получили следующий ряд данных:

|     |   |   |    |    |    |
|-----|---|---|----|----|----|
| $s$ | 0 | 1 | 2  | 3  | 4  |
| $t$ | 0 | 5 | 19 | 46 | 78 |

Через нанесенные на координатную плоскость точки, соответствующие этим данным, можно провести бесчисленное множество кривых. Эти кривые могут противоречить друг другу в предсказании результатов, соответствующих тем местам кривых, которые лежат между имеющимися точками. Выбрать же нужно лишь одну кривую, адекватную действительности.

Проблема выбора встает и на теоретическом уровне, когда ищут «скрытые механизмы», причины установленных закономерностей в поведении изучаемых объек-

тств. Гипотетическое знание о «скрытых» причинах и «ненаблюдаемых» сущностях кладется в основу строящейся теории, составляет суть ее принципов. Это содержание невозможно сопоставить непосредственно с эмпирическими данными. В связи с этим нет и уверенности, что предложенный способ теоретического объяснения является единственным. Ведь можно выдвинуть и другие объяснения, приводящие к тем же выводам. Так появляется возможность длительного сосуществования соперничающих теорий, которые одинаково хорошо согласуются с опытом на определенном участке, но не эквивалентны в более широкой экспериментальной ситуации.

Вот типичный пример. В 70-х годах прошлого столетия существовало несколько теорий, объясняющих электромагнитные явления. Все теории — А. Ампера, В. Вебера, К. Неймана, Г. Грасмана, Дж. К. Максвелла и др., — исходя из разных допущений, одинаково успешно объяснили закономерности статических и квазистатических полей и взаимодействия постоянных токов. Но при этом они делали разные предсказания относительно взаимодействия быстропеременных токов. А так как в то время не умели получать переменные токи достаточной частоты, сделать выбор среди конкурирующих теорий на почве эмпирических данных не представлялось возможным.

Аналогичная ситуация повторяется в физике буквально при каждом новом шаге вперед. Встречаясь с новыми фактами, исследователь прежде всего стремится понять их в рамках существующей теории. Если это не удается, то усилия направляются на создание новой теории. При этом часто возникает несколько конкурирующих теоретических объяснений, одинаково хорошо согласующихся с новыми фактами. В этом случае первоначально может развернуться острая дискуссия относительно степени экспериментального подтверждения того или иного теоретического объяснения. Эта дискуссия ведет к отбору истинной теории из конкурирующих концепций. Однако на этом этапе эмпирической проверки различных вариантов теоретического объяснения не всегда удается отобрать одну истинную теорию. Нередко возникает ситуация, когда самый беспристрастный анализ показывает, что при учете существующих экспериментальных возможностей с равным правом могут претендовать на звание истинной несколько теорий.

И (повторяем еще раз) основной, наиболее важный критерий, которым пользуются ученые в поисках новых теоретических систем — соответствие эмпирическим данным, — здесь «не работает»: конкурирующие системы в равной степени адекватны данным эксперимента. Какую из альтернативных систем должен предпочесть физик, чем он должен руководствоваться при этом?

## Вспомогательные критерии истины

Казалось бы, наиболее естественным в этом случае было бы предложение ждать. Ждать, пока одна из конку-

рирующих систем не выявит свое лучшее согласие с опытом, и тогда-то остановить на ней свой выбор. Но это неудачный совет. Критерию согласия гипотезы с опытом можно удовлетворить всегда, если только при каждом обнаруживающемся несогласии подкреплять строящуюся теоретическую систему новым допущением, введенным специально для данного случая (*ad hoc*-гипотезой). Этим путем можно сохранить даже заведомо неадекватную действительности теорию.

Такой порочный по своей сути метод построения теоретических систем Лейбниц в свое время метко окрестил «горопизмом». Это слово производно от имени средневекового схоласта Горопиуса, который для доказательства своего тезиса о происхождении всех языков от тевтонского прототипа выдвинул гипотезу, будто Адам говорил на германском диалекте.

Шутливый пример построения теорий методом горопизма приводит известный американский логик Л. Фейер<sup>1</sup>. Робинзон и Пятница увидели следы на берегу. Робинзон предположил, что здесь прошел человек. Пятница высказал мнение, что этот человек кого-то нес на себе. Робинзон справедливо возражает, что тогда следы были бы глубже; тогда Пятница выдвигает предположение, что человек, которого несли, поддерживался раскрытым зонтиком, поднимаемым ветром. Робинзон возражает, что вчера не было ветра; тогда Пятница, спасая свою теорию, выдвигает новое предположение: ветер был, но такой короткий, что они не успели его заметить. И так далее, до бесконечности.

Энергичные попытки спасения теорий, подобные тем, которые делал Пятница, часто предпринимаются и авторами научных систем, обнаруживающих тенденцию к расхождению с вновь поступающей информацией. Достаточно вспомнить, как спасали в свое время птолемеву систему мира, концепции эфира, теплорода, модель атома Дж. Томсона. В результате этих усилий теории обрастали громоздкими искусственными построениями, сильно усложнялись и в конце концов отбрасывались. Наука не терпит горопизма. Из нескольких конкурирующих систем наиболее жизнеспособной оказывается та, которая в расширяющейся эмпирической ситуации способна уцелеть, не увеличивая числа своих исходных посылок.

Неприятие горопизма лежит в основе почти всех — старых и современных — концепций индуктивной простоты. Именно оно составляет суть парадоксального на первый взгляд утверждения австрийского логика К. Поппера о том, что следует предпочитать более простые теории, выбирая для этого лучше поддающиеся опровержению<sup>2</sup>. В самом деле: теории, прибегающие к горопизму, эмпирически опровергнуть совершенно невозможно.

<sup>1</sup> L. Feuer. The Principle of Simplicity. Philosophy of science, Brugas, v. 24, 1957, p. 110.

<sup>2</sup> K. Popper. The Logic of scientific discovery, 1959, pp. 119—130; 136—145.

Стремление не допустить горопизма лежит и в основе выдвинутого А. Эйнштейном требования внутреннего совершенства теорий<sup>1</sup>. Это требование, по мнению Эйнштейна, даже важнее требования согласия с эмпирическими данными: ведь, как мы уже отмечали, любую самую невероятную теорию можно длительное время поддерживать в подобном согласии. Эйнштейновское требование «внутреннего совершенства» заключается в естественности основных посылок теоретической системы, в отсутствии среди них искусственных допущений. Индуктивную простоту в настоящее время считают одним из вторичных теоретических критериев истинности научного знания. Вторичным — потому что он вступает в силу уже после того, как решен вопрос о согласовании альтернативных систем с опытом, когда оценка истинности теорий с точки зрения основного, «первичного», эмпирического критерия уже невозможна; теоретическим — поскольку он не совпадает с эмпирическим.

Вместе с тем критерий простоты не подменяет собой критерия практики. Напротив, его можно рассматривать как опосредованный практический критерий, если, конечно, не обеднять саму практику, не сводить ее только к лабораторному и техническому эксперименту, а понимать под ней деятельность человека, направленную на преобразование окружающего мира. Ведь принцип простоты сложился в ходе деятельности ученых, и ценность его как научного метода апробируется в этом смысле всей практикой научного познания. Практика была и остается основой человеческого познания и критерием истины. Дело заключается в том, чтобы понять саму практику как диалектический процесс, в котором результаты развивающейся практической деятельности могут вступить в противоречие с данными предшествующей практики. Принцип простоты в этом смысле не только не противоречит принципу практики, но дополняет этот критерий, позволяя ускорить движение к истинной теории. Новая теория в конечном счете находит убедительное подтверждение в новой практике научного исследования. Но путь к этой истинной теории опосредуется вторичными критериями истинности. В ряде философских работ было показано, что, несмотря на извращенное истолкование принципа простоты как «экономии мышления», этот принцип, называемый иногда минимизацией знания<sup>2</sup>, становится методологическим принципом на пути познания объективной истины.

### Трудности использования критерия простоты

Но, оказывается, научиться действительно эффективно пользоваться орудием простоты... не так-то просто. Легко сказать — избирайте наиболее простую из конку-

рирующих теорий, а вот как это сделать практически? Как узнать в тот момент, когда теории выдвинуты, какая из них сохранит первоначальное число своих посылок и не станет вводить новых для объяснения вновь открывающихся фактов? Похоже на то, что узнать, насколько проста теория, можно только после того, как начнется накопление новой эмпирической информации. Но тогда рассматриваемое свойство теоретических систем не может служить самостоятельным, отличным от эмпирического, критерием выбора среди конкурирующих теорий.

Есть только одна возможность сделать расплывчатое требование простоты действительно эффективным критерием выбора — научиться сравнивать системы по их простоте и сложности уже в период их формирования, когда они эквивалентны по своему согласованию с опытом. Но эта возможность может быть реализована различными путями. В данной статье мы обращаем внимание читателя прежде всего на эвристическую простоту. А между тем, как мы уже отметили, существуют различные типы простоты и исследование этих типов предполагает различные подходы к проблеме. Анализируя научные теории в логическом аспекте, некоторые авторы приходят к выводу, что простоту следует рассматривать как меру некоторых свойств предикатов. В логике, как известно, предикат обозначает принадлежность или отсутствие того или иного признака у предмета. В математической логике предикат понимается как некоторая функция, в общем случае,  $n$  переменных. Рост числа мест предиката соответствует возрастанию сложности. Другие свойства предикатов уменьшают сложность, т. е. ведут к простоте. Однако такое понимание вызывает трудности, которые еще не преодолены.

Рассматривая эвристическую простоту, можно искать способы оценки различных научных теорий, эквивалентных относительно опытного подтверждения, на другом пути. Так, можно оценивать простоту теории в связи с общностью теоретической системы. Из нескольких конкурирующих теорий наиболее экономной в допущениях при объяснении одного и того же круга фактов окажется та, посылки которой наиболее общи, т. е. потенциально приложимы к наибольшему количеству фактов.

Тот факт, что обобщение помогает свертыванию многообразного знания, его упрощению, замечен уже давно. Достаточно сказать, что, например, любая математическая теорема или любой строго сформулированный закон науки объединяет в себе неисчислимое многообразие конкретных случаев и уже тем самым упрощает знание.

Проблема, однако, заключается в том, что современные теоретические науки, где метод обобщения принес наибольшие достижения, требуют строгих оценок самого процесса обобщения. Подчеркивая связь между общностью принципов теории и простотой, мы обращаем внимание на то, что в развитии естествознания выявились такие его черты, которые позволяют найти

<sup>1</sup> А. Эйнштейн. Творческая автобиография. В сб. «Эйнштейн и современная физика». Гостехиздат, М., 1956, стр. 36—39.

<sup>2</sup> См., например, И. В. Кузнецов. О математической гипотезе, «Вопросы философии», 1962, № 10.

способы оценки простоты теории. Эти черты можно видеть в принципах инвариантности или, иначе, в принципах сохранения, которые наиболее полно проявились в развитии физики.

## Принципы инвариантности

Рассказать здесь в общем виде, что представляют собой принципы инвариантности, не представляется возможным. Интересующихся этим вопросом мы отсылаем к статье проф. Д. А. Франк-Каменецкого «Инвариантность в современной физике»<sup>1</sup>.

Кратко можно сказать, что принцип инвариантности — это требование сохранения уравнений теории при осуществлении некоторых преобразований.

Инвариантность законов природы в очень многих случаях сводится к их симметрии. Это находит отражение в таких названиях, как зеркальная симметрия — инвариантность законов относительно замены правого на левое; СРТ-симметрия — инвариантность относительно одновременной замены частицы на античастицу, правого — на левое и обращения времени и т. д.

В настоящее время становится все более явным, что принципы инвариантности лежат в основе структуры любой фундаментальной физической теории.

Так, в основе классической механики лежат требования неизменности законов относительно определенных изменений положения экспериментальной установки в пространстве и времени. Законы природы не должны меняться от того, что мы сместим экспериментальную установку в любом направлении в пространстве, повернем ее на некоторый угол, отразим зеркально, либо начнем эксперимент раньше или позже во времени. Результаты эксперимента остаются теми же при всех этих операциях (разумеется, если неизменны все другие условия проведения эксперимента) — вот что означает инвариантность законов природы относительно пространственно-временных преобразований.

Принципы инвариантности указывают те способы перехода от одной системы к другой, от одного типа взаимодействия к другому, которые оставляют неизменными законы природы. События могут меняться от системы к системе, зависеть от конкретного вида взаимодействий, но законы природы, следуя правилу перехода, должны, меняясь по форме, оставаться неизменными по своему действию, по результатам.

Так, помимо перечисленных выше преобразований, законы классической механики остаются неизменными относительно переходов от неподвижной системы координат к движущейся равномерно и прямолинейно. Это значит, что результаты любого проведенного опыта не будут зависеть от того, совершается ли он, например, на неподвижном корабле, или на движущемся равномерно и прямолинейно. Способ перехода от одной из

этих систем к другой, оставляющий неизменными законы механики, носит название преобразований Галилея.

Теория относительности и квантовая механика постулировали инвариантность законов природы относительно других групп (других наборов) преобразований, которые мы не будем рассматривать. Нам важно подчеркнуть здесь другой момент.

Очевидно, что положить в основу теории какие-либо принципы инвариантности — это значит выявить возможное поле приложения законов теории, условия их справедливости, т. е. выявить условия общности законов.

До открытия соответствующих принципов инвариантности мы знали, что некоторый закон или группа их справедливы для систем отсчета  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  либо для конкретного вида взаимодействия, но не знали, справедлив ли он для некоторой другой системы, либо для другого вида взаимодействия. Открытие принципов инвариантности дает возможность выяснить степень общности законов природы.

Нетрудно догадаться, что чем больше то количество преобразований, относительно которых остается неизменным закон (в физике говорят: чем более широкой является группа преобразований), тем более он общ.

## Истинность, простота, симметрия

Если мы припомним, что общность законов научной теории определяет их простоту, то можно сделать вывод: чем больше набор возможных преобразований, относительно которых остаются неизменными уравнения некоторой теории, тем проще она сама. Скажем так: чем более «инвариантельна» теория, тем выше ее простота.

Что касается связи между истинностью теоретических систем, их индуктивной простотой и инвариантностью, то эта связь выражается следующим образом: одним из критериев истинности является индуктивная простота, критерием последней выступает инвариантность системы.

Можно сформулировать правило: если есть основание выбора между теоретическими системами, равно хорошо согласующимися с экспериментальными данными, предпочитать следует ту из них, посылки которой остаются инвариантными относительно более широкой группы преобразований. Тогда при объяснении одной и той же области эмпирических данных эта система окажется наиболее экономной в использовании допущений, т. е. относительно наиболее простой. Все другие соперничающие с ней теории в конце концов вынуждены будут прибегать к искусственным построениям (*ad hoc*-гипотезами), т. е. усложняться.

Может возникнуть вопрос: используется ли это методологическое правило в конкретных научных исследованиях? Ответ на него зависит от ряда условий. В истории физики часто случалось, что природа этого методологического правила в процессе выбора наиболее

<sup>1</sup> «Природа», 1966. № 10.

простой из конкурирующих теорий не осознавалась. В еще большей степени это относится к выбору наиболее инвариантной системы, поскольку сами принципы инвариантности сравнительно недавно обратили на себя подобающее им внимание. Чаще всего выбор осуществлялся интуитивно. Но ведь суть не в том, сознательно или нет этот выбор производился. Всегда можно ретроспективно выяснить причины победы одной из систем, равно эквивалентных экспериментальным данным на некотором участке.

И вот, анализируя встречающиеся в истории физики случаи конкуренции теоретических систем, почти всегда можно прийти к выводу, что побеждает более простая теория, а причина ее большей простоты заключается в ее большей инвариантности.

Вернемся, например, к уже упоминавшейся ситуации с альтернативностью теоретических систем в области электромагнитных явлений. Все существовавшие в то время теории можно разделить на две неравные группы: к первой принадлежали теории школы Ампера, признававшей дальное действие, т. е. существование мгновенной передачи действия на расстояние; ко второй — единственная теория Максвелла, которая отрицала дальное действие и стояла на точке зрения близкого действия. Различие между этими теориями заключалось в тех предсказаниях, которые они делали относительно скорости распространения возмущений в поле: согласно теориям дальнего действия, она бесконечно велика, по Максвеллу — конечна. В области же стационарных полей обе группы теорий приводили к одинаковым результатам. Поэтому окончательный бой мог быть дан только на почве быстропеременных токов, опыты с которыми удалось осуществить лишь двадцать лет спустя немецкому физiku Герцу.

Но задолго до решающих опытов Герца часть физиков, покоренная простотой максвелловской теории, признала ее победу. Дело в том, что с открытием новых фактов, подобных поляризации диэлектрика, теории амперовской школы вынуждены были, спасая дальнее действие, прибегать ко все новым допущениям, что вело к возрастанию сложности. Теория Максвелла, положив в свое основание допущение о невозможности дальнего действия, оказалась наиболее простой: ей удалось объяснить все вновь открытые факты, не прибегая к новым гипотезам.

Причиной относительно большей простоты максвелловской теории явилась ее большая инвариантность. Представления о близком действии вводили в теоретическое объяснение новый инвариант (мировую постоянную)  $c$  — скорость света в вакууме. В дальнейшем это представление было обобщено и сформулировано требование, по которому скорость распространения любого типа взаимодействия не могла превышать величины скорости света. Признание близкого действия, в свою очередь, было эквивалентно требованию сохранения законов электромагнетизма относительно открытой позднее группы преобразований, получившей наз-

вание группы Лоренца, которая оказалась более широкой, нежели группа Галилея.

Вернемся теперь к борьбе птолемеевой и коперниковой систем мира. Можно утверждать, что большая индуктивная простота системы мира Коперника, по сравнению с птолемеевой, в значительной степени была вызвана следующим обстоятельством. Птолемеева система основывалась на аристотелевом учении о движении, исходящем из признания коренного различия между движением «совершенных» небесных тел и «несовершенных» земных. Коперник отвергает это различие. Он строит свою систему на допущении, что круговые движения свойственны не только небесным телам, но и Земле.

Вводя такое допущение, Коперник делает существеннейший шаг в направлении к новой физике Галилея и Ньютона, провозгласившей в качестве одного из основных своих постулатов идентичность земных и небесных законов. Основание этой идентичности лежит в симметрии пространства — его однородности и изотропности, как раз в тех свойствах, которых было лишено пространство системы мира древних греков. Но именно однородность и изотропность пространства и обеспечивают инвариантность законов механики относительно сдвигов и поворотов систем координат. В этом и заключается причина большей инвариантности системы Коперника по сравнению с птолемеевой.

И, наконец, рассмотрим еще один, упоминавшийся ранее, случай конкуренции систем, который связан с выбором отдельной закономерности. Как уже отмечалось, обычно приходится выбирать между большим числом кривых, которые одинаково хорошо согласуются с имеющимися данными, но противоречат друг другу в предсказании новых результатов. Правда, выбор кривой в большой степени облегчается теоретическими соображениями. Стремятся избрать ту закономерность, которая наиболее естественно может быть объяснена с точки зрения вновь добытого теоретического содержания. Затем полученную кривую сглаживают. Посмотрим, какую роль играет здесь принцип простоты.

Вернемся к примеру с закономерностью свободно падающего тела. Если допустить, что отклонение  $S$  от ее квадратичной зависимости от  $t$  вызвано случайными ошибками, то эту закономерность можно выразить в виде  $S = at^2$ , где  $a$  — некоторая постоянная величина; но можно представить и в виде полинома такого типа:

$$S = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4,$$

подобрав такие коэффициенты, что экспериментальные данные совершенно точно уложатся в полином. Длительная практика ученых привела их к правилу: предпочитай первое выражение. Геометрически это выразится в том, что кривая сгладится, усреднится.

Вместе с тем сглаженные кривые индуктивно более просты по сравнению с теми, которые следуют всем

случайным иррегулярностям: первые обладают меньшим числом свободно изменяемых параметров, они более экономны в произвольных допущениях. Следовательно, практическое правило можно сформулировать так: при выборе между соперничающими закономерностями следуй большей индуктивной простоте.

И снова можно утверждать: в основе многократно апробированного правила лежат интуитивно используемые здесь соображения инвариантности. Ведь сглаженная кривая аналитически выразится соотношением, остающимся тождественным, инвариантным для всех экспериментальных данных. Она представляет собой геометрическое место точек, расположенных возможно более симметрично относительно всех имеющихся данных. Значит, и здесь большая индуктивная простота — следствие большей инвариантности.

Необходимо отметить, что индуктивная простота — это не только экономия в допущениях, используемых системой при объяснении одного и того же круга фактов, но и способность теоретической системы к экспансии на новые области. Наиболее простая система оказывается и наиболее способной делать подтверждающиеся предсказания. Этот факт становится понятным опять-таки при учете связи между индуктивной простотой и принципами симметрии.

Возьмем, к примеру, одну из самых молодых отраслей физики — физику элементарных частиц. Их, как известно, существует около двухсот (включая резонансы). Пока еще нет строгой теории, позволившей бы с единой точки зрения объяснить все эмпирические закономерности их поведения. Существует несколько подходов к созданию такой теории. Однако наиболее плодотворным из них оказался метод использования уже известных и введения новых симметрий. Он позволил не только упорядочить и систематизировать известные частицы, но и предсказать существование новых, а также объяснить некоторые факты, не поддающиеся столь успешному объяснению при использовании других методов.

Наиболее плодотворной оказалась  $SU(3)$ -симметрия, введенная на основании следующих соображений<sup>1</sup>. Было известно, что четыре наиболее тщательно изученных члена семейства барионов  $N$ ,  $\Lambda$ ,  $\Sigma$  и  $\Xi$  различаются между собой по массам на величину, которая всего лишь на порядок больше разности масс среди членов каждого мультиплета. Причину этой разности физики усматривают в том, что при электромагнитных взаимодействиях изотопический спин не сохраняется. Нельзя ли предположить, что различие в массах между соседними мультиплетами вызвано нарушением при сильных взаимодействиях какого-то нового закона симметрии? В 1961 г. известные физики-теоретики М. Гелл-Манн и Ю. Неэман предложили новый закон

симметрии, названный ими «восьмеричным путем» (он включает в себя оперирование восемью квантовыми числами) с соответствующей унитарной группой преобразований  $SU(3)$ .

На основе этой симметрии удалось построить новую систематику элементарных частиц, сгруппировав мультиплеты в супермультиплеты, и предсказать несколько новых частиц. Прекрасным подтверждением существования новой симметрии явилось экспериментальное обнаружение предсказанного ею  $\Omega^-$ -гиперона.

Эти факты дают возможность, не абсолютизируя ни один из существующих подходов к построению единой теории элементарных частиц (в том числе и групповой подход), высказать, однако, предположение, что из всех возможных вариантов этой теории победит, оказавшись индуктивно наиболее простым, тот, который в полной мере использует преимущества симметрии. Эвристичность индуктивной простоты имеет свое основание, по-видимому, в эвристичности инвариантности (симметрии). Именно поэтому изучение роли принципов инвариантности в структуре физического знания позволяет немного приоткрыть завесу над тайной простоты как одного из существенных критериев истинности развивающихся научных теорий.

УДК 160.1

<sup>1</sup> Подробно об этом см. статью М. Гелл-Манна, А. Розенфельда и Дж. Чу «Сильно взаимодействующие частицы». «Природа», 1964, № 10, 11.

# Квазары — загадка Вселенной

Г. С. Бисноватый-Коган, Б. В. Комберг  
Институт прикладной  
математики АН СССР

Еще несколько лет назад можно было составить исчерпывающий список объектов, которыми могли заниматься астрономия и астрофизика. Космические лучи; газ и пыль (рассеянные и собранные в облака); метеориты, астероиды и кометы; планеты; звезды, галактики и скопления галактик. Казалось, это список не экспериментальный, а чисто логический — ни воображение ученых, ни буйная фантазия писателей не могли к нему ничего прибавить — разве что искусственные сооружения, созданные разумом. Поле деятельности для науки все же было обширным и почти неисчерпаемым — так много еще надо было узнать нового и более точного об этих объектах. Но Вселенная никогда не считается с тем, чего, по нашему мнению, не может быть, она то в области микромира — во внутриядерных масштабах времени и пространства, то в области мегамира, изучаемого астрономией, преподносит нам самые неожиданные сюрпризы. Не совсем, правда, неожиданные: новые орудия исследования, настойчивые усилия экспериментаторов и наблюдателей и изощренные построения теоретиков в значительной мере направлены на то, чтобы, изучая известное, столкнуться и с неожиданным, но само содержание неожиданного всегда кажется парадоксальным — тем, чего не могло быть. Последним сюрпризом для астрономии было пополнение «логического» (теперь уже в кавычках) списка небесных объектов новым именем — «квазары». Название это возникло не сразу — сперва, очень короткое время, их называли «настоящие радиозвезды»<sup>1</sup>, но вскоре убедились, что в понятие звезды их свойства никак не укладываются. Тогда выбрали более правильное, хотя и менее определенное название — «квазизвездные радиоисточники», сокращенно квазары, и это звучное сокращение, по-

Послушайте!

Ведь если звезды зажигают —  
Значит — это кому-нибудь нужно?

В. В. Маяковский

видимому, сохранится за новыми объектами, даже если наше представление о них существенно изменится. А измениться оно может, потому что известно о них пока очень мало.

## Как были открыты квазары?

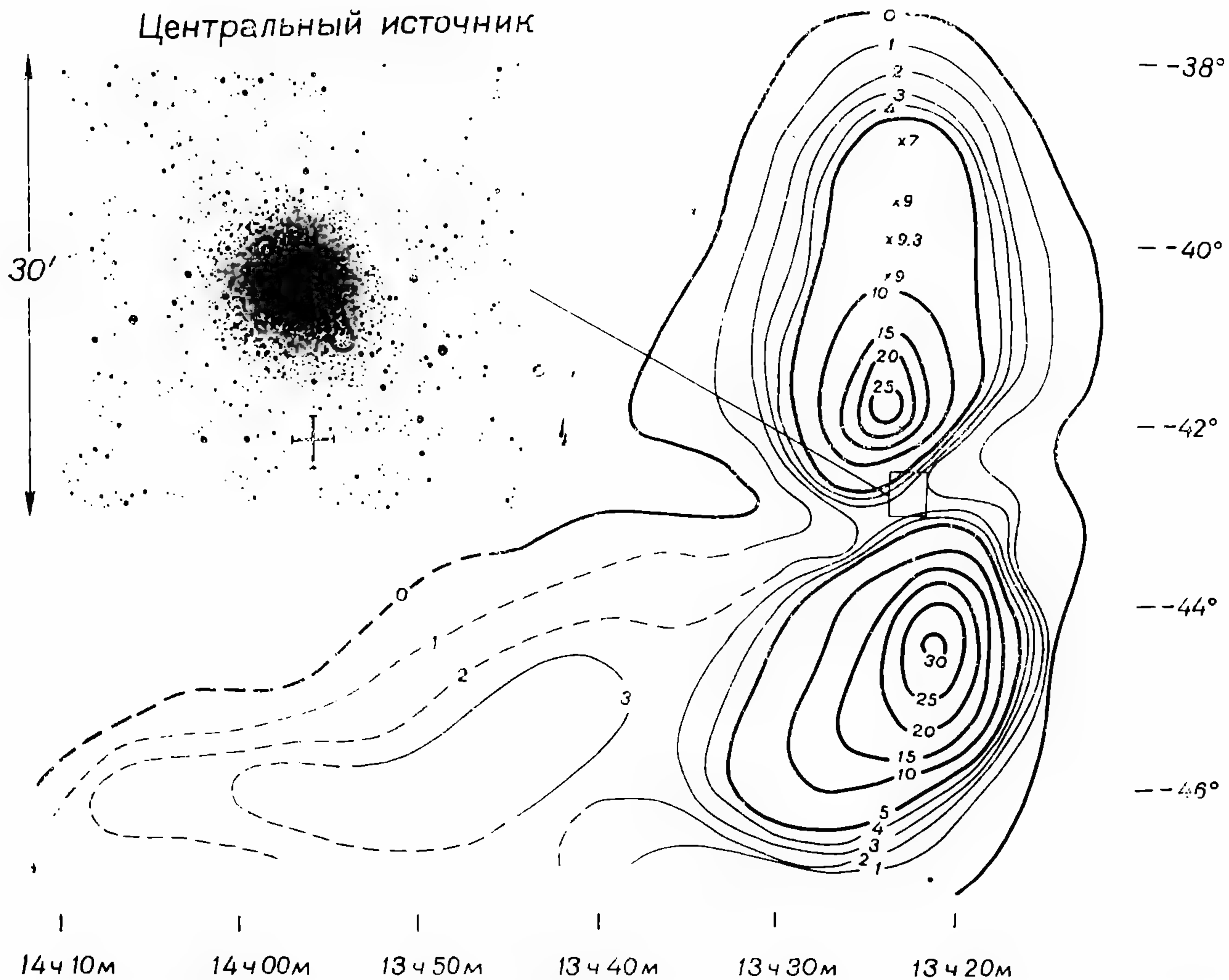
В начале 1963 года австралийские радиоастрономы на 64-метровом параболическом радиотелескопе, расположенном вблизи Сиднея (рис. 1), исследовали несколько объектов из третьего Кембриджского (3С) каталога радиоисточников, о которых было известно, что они имеют малые угловые размеры. Исследования подтвердили малость угловых размеров, и, кроме того, более точно были получены положения этих источников на небе. Особенно точно определили положение источника 3С 273 (источник за номером 273 в 3С каталоге). Дело в том, что этот источник иногда закрывается от нас Луной. Так как на Луне нет атмосферы, то ее край служит как бы краем экрана, непрозрачного для радиоволн. Но это как раз те условия, когда можно наблюдать дифракционную картину: излучение от источника пропадает не сразу при геометрическом заходе его за экран, а после нескольких колебаний интенсивности. По характеру этих колебаний можно судить о структуре и размерах источника. Кроме того, зная положение Луны в момент захода за нее радиоисточника, с большой точностью определяют и координаты последнего. Этот метод позволил определить радиоструктуру источника 3С 273. Оказалось, что он состоит из двух компонент: центральной компоненты В с угловыми размерами меньше одной секунды дуги и вытянутой компоненты А размерами  $9'' \times 2''$ . Центры компонент отстоят друг от друга примерно на  $20''$ . Спектры в радиообласти у них существенно разные.

Располагая точными данными о положении этих радиоисточников малых размеров, американские астрономы Т. А. Метьюс и Аллан Сендидж пересмотрели прежние фотографии тех участков неба, где они находятся. Ожидалось, что вблизи радиоисточников должны быть видны какие-либо далекие галактики. Но никаких галактик около точечных радиоисточников обнаружено не было. Тогда Сендидж на самом большом в мире 5-метровом Паломарском телескопе сделал новую серию фотографий тех же участков неба. На одной из

Антенна Центра дальней космической связи, состоящая из 8 зеркал диаметром 16 м каждая (СССР) (вверху). Радиоизображение галактики Центавр А и в увеличенном масштабе фотография в видимых лучах ее центральной части (внизу).

<sup>1</sup> Ю. Ефремов. Первая настоящая радиозвезда. «Природа», 1963, № 3, стр. 97.

# Центральный источник



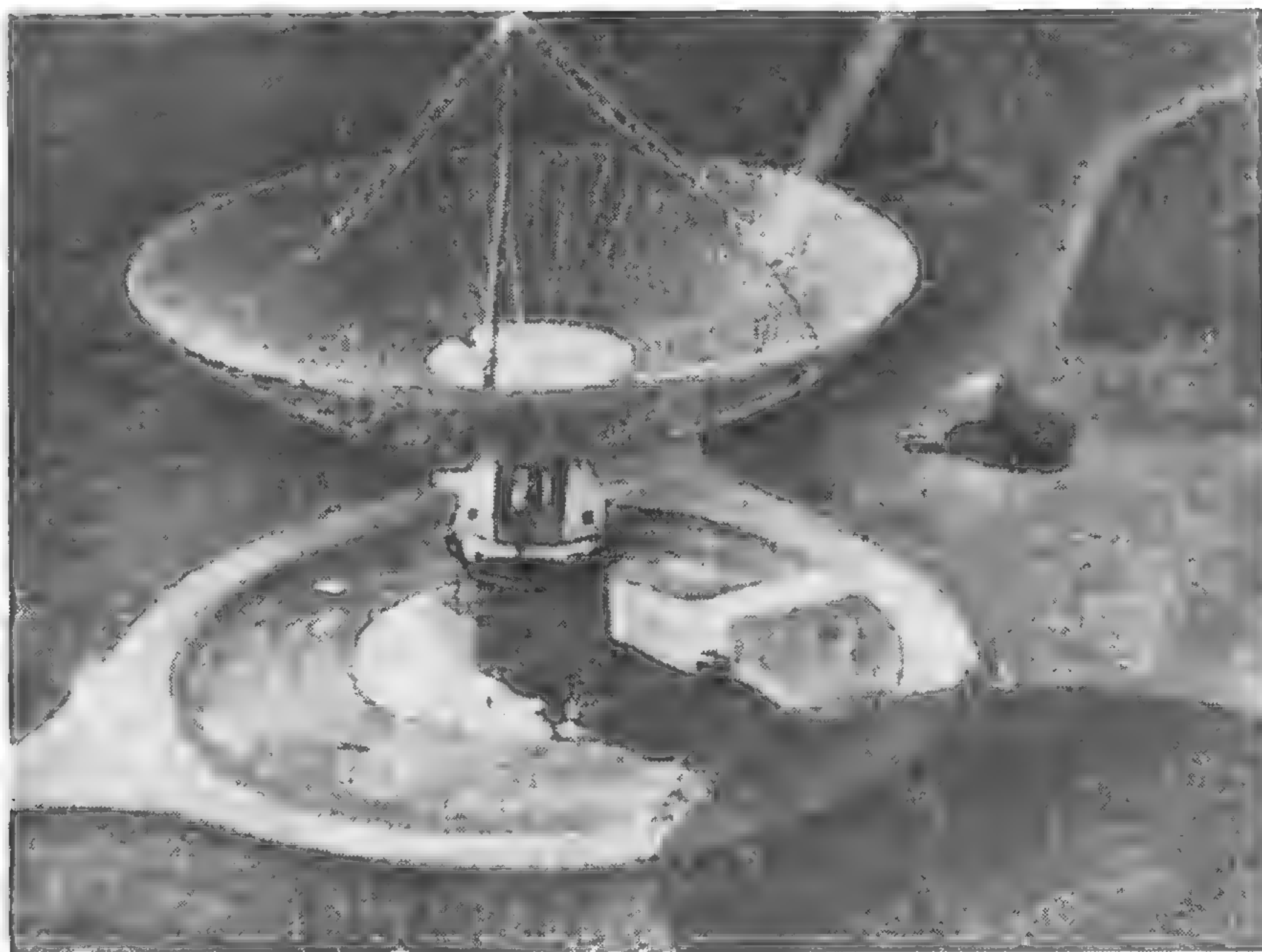


Рис. 1. 64-метровый параболический радиотелескоп Паркс, расположенный вблизи Сиднея (Австралия)

пластинок удалось заметить слабые волокна туманности размером около  $12''$  вокруг звезды 16-й величины, находящейся на месте источника ЗС 48. На другой пластинке была видна еще более слабая туманность вокруг звездочки почти 18-й величины, отождествляемой с ЗС 196. Точное положение и характерная структура ЗС 273 дали возможность американскому астроному Мэартину Шмидту произвести блестящее отождествление и этого радиоисточника. Шмидт получил фотографии, на которых обнаружил звездочку 13-й величины на месте компоненты В и слабый туманный выброс, совпадающий с компонентой А.

Итак, первые шаги были сделаны — несколько точечных радиоисточников удалось отождествить со звездopodobными объектами. Оставалось сделать следующий шаг — получить оптические спектры этих объектов и расшифровать их. Однако тут астрономов ждали новые неожиданности.

### Красное смещение

Первые спектры «звездочки», отождествленной с квазизвездным источником ЗС 48, были получены Сендиджем еще раньше. На спектрограмме прослеживалось несколько диффузных линий излучения на фоне непрерывного спектра. Однако положение этих линий не сов-

падало ни с одной из известных астрономам линий атомных спектров. Гвидо Мюнч и Дж. Гринстейн (Маунт-Вилсон и Паломарская обсерватории США) получили еще 7 спектрограмм этого объекта. И снова расшифровать спектрограммы не удалось. Та же история повторилась и со спектрами слабых «звездочек», находящихся на месте радиоисточников ЗС 147, 196 и 286, полученных Шмидтом: ни одной линии, совпадающей с ранее известными, на спектрограммах не было.

То обстоятельство, что некоторые линии в спектрах новых объектов могут не совпадать с ранее известными, само по себе не так уж удивительно, если принять во внимание возможные различия в химическом составе и условиях. Но когда среди десятка линий, зафиксированных на многих спектрограммах, не встречается ни одной из известных ранее — это заставляет задуматься.

Такой запутанной ситуация оставалась около двух лет, пока М. Шмидт не приступил к изучению спектра объекта ЗС 273. Оказалось, что 4 из 6 линий излучения этого объекта составляют простую аналитическую последовательность, причем расстояние между линиями и их интенсивность убывали в сторону ультрафиолета. Шмидт заметил, что если предположить для всех линий в спектре

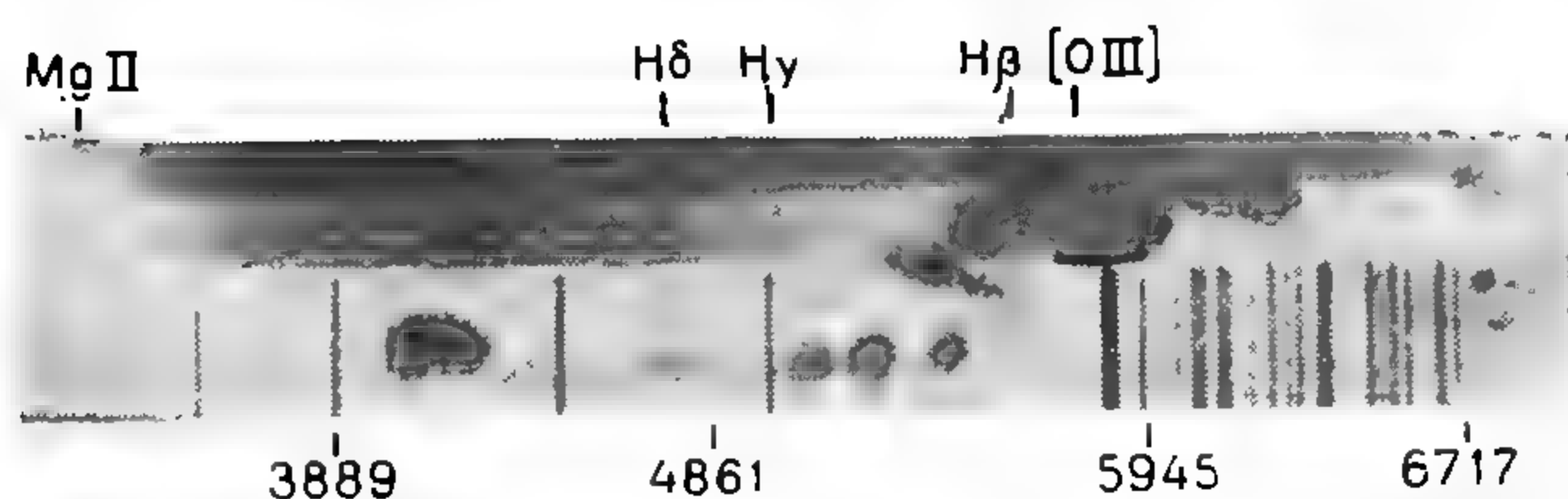


Рис. 2. Спектр ЗС 273

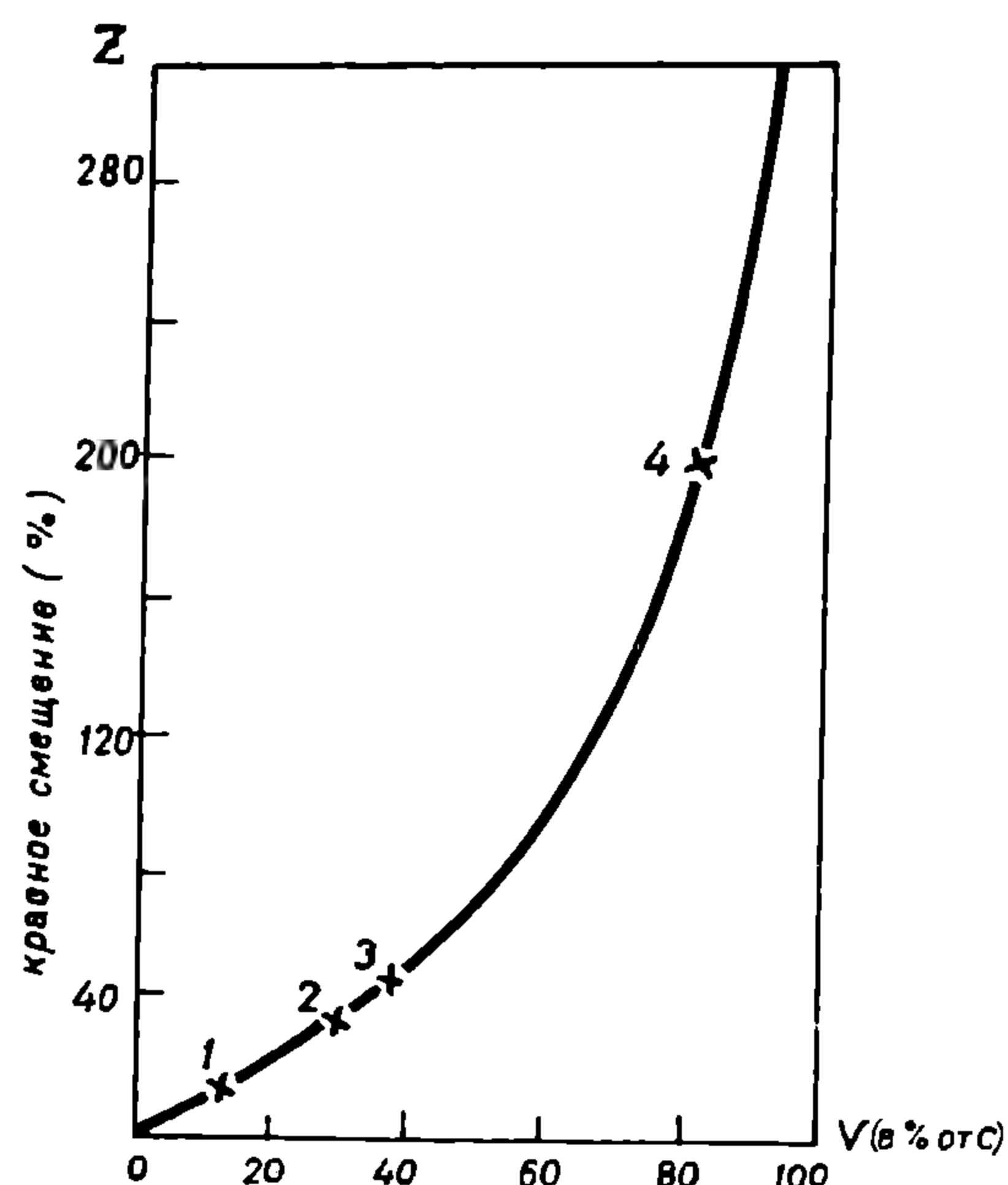


Рис. 3. Связь между скоростью удаления источника ( $v$ ) и красным смещением ( $z$ ).  $z = \frac{\lambda}{\lambda_0} \cdot 100\%$ : 1 — квазар 3C 273 ( $z=0,16$ ;  $v=0,15$  с); 2 — квазар 3C 48 ( $z=0,37$ ;  $v=0,35$  с); 3 — радиогалактика 3C 295 ( $z=0,46$ ;  $v=0,4$  с); 4 — квазар 3C 9 ( $z=2,0$ ;  $v=0,8$  с)

3C 273 смещение на 16% (относительно лабораторной длины волн) в сторону красного конца спектра, то эти 4 линии совпадут с хорошо известными линиями бальмеровской серии излучения атомов нейтрального водорода —  $H_\alpha$  (6563 Å),  $H_\beta$  (4861 Å),  $H_\gamma$  (4340 Å) и  $H_\delta$  (4102 Å)<sup>1</sup>. А две оставшиеся линии тогда можно совместить с известными линиями дважды ионизованного кислорода OIII (5007 Å) и однажды ионизованного магния MgII (2800 Å) (рис. 2).

Предположение Шмидта о красном смещении всех линий в спектре источника 3C 273 явилось ключом к расшифровке и остальных спектров. Применяв ту же процедуру к спектру источника 3C 48, Гринштейн и Метьюс нашли, что для него красное смещение равно уже 37%. Такие значительные красные смещения в спектрах этих «звездочек» явились полной неожиданностью. Ведь раньше с подобной ситуацией астрономы сталкивались только в спектрах далеких галактик. Например, в спектре самой далекой из известных галактик — радиогалактики 3C 295 — все линии смещены к красному концу на 46%.

Еще в 1920 г. американский астроном Э. Хаббл показал, что все галактики от нас удаляются, причем с тем большей скоростью, чем дальше они находятся. Было установлено, что при увеличении расстояния на 1 Мпс<sup>2</sup> скорость разбегания увеличивается приблизительно на 100 км/сек. Эта величина носит название константы Хаббла, Примерно в то же время советский ученый А. Фридман нашел такое решение уравнений тяготения

Эйнштейна, которое привело к представлению о расширяющейся Вселенной. Таким образом, «разбегание» далеких галактик получило и теоретическое истолкование в рамках модели расширяющейся Вселенной. В этой модели становится понятным и красное смещение в спектрах далеких объектов — оно является просто результатом доплеровского смещения. Действительно, известно, что линия, испущенная удаляющимся от нас источником, будет всегда смещена к красному концу спектра. Если в случае покоящегося источника длина волны, характерная для линии какого-либо химического элемента в его спектре, есть  $\lambda_0$ , то при удалении источника со скоростью  $v$  она увеличивается и становится равной  $\lambda_0(z+1)$ , где  $z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$ .

Пока  $z$  мало, скорость удаления источника можно приблизительно оценивать по формуле  $v = cz$ , где  $c$  — скорость света. По мере увеличения  $z$  такая простая связь между ними теряется (рис. 3). Зная красное смещение источника, т. е. скорость его удаления и константу Хаббла ( $H$ ), можно найти и расстояние до источника. При  $z$  малом расстояние ( $R$ ) до источника оценивается приблизительно по простой формуле:  $R = \frac{c}{H} z$ . (При больших  $z$  само понятие расстояния будет уже зависеть от модели Вселенной.) Для источников 3C 273 и 3C 48 (в модели Вселенной Эйнштейна — де-Ситтера) расстояния оказались равными соответственно 1,3 и 2,5 млрд световых лет, т. е. эти «звездочки» находятся значительно дальше многих ранее известных галактик!

Спределив таким образом расстояние до источника и зная его видимую яркость, можно вычислить полную светимость этих объектов. Для 3C 273, например, она

<sup>1</sup> 1 ангстрем равен  $10^{-8}$  см, т. е. одной стомиллионной сантиметра.

<sup>2</sup> 1 мегапарсек равен  $10^6$  парсек, т. е.  $3 \cdot 10^{24}$  см; 1 парсек равен 3,26 светового года.

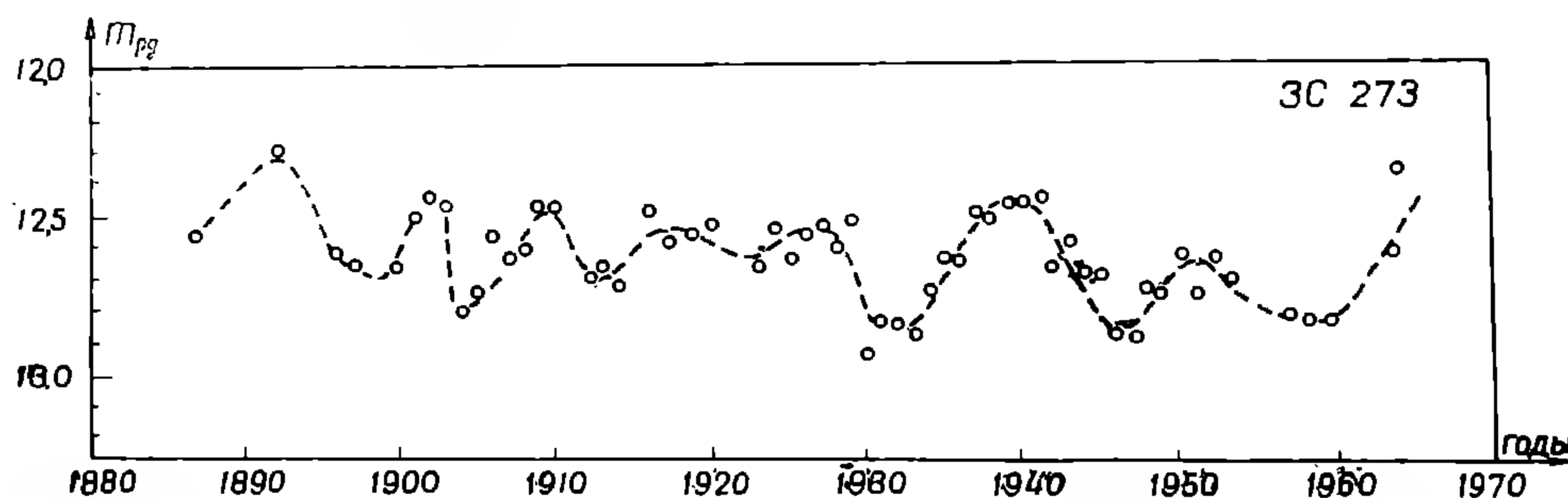


Рис. 4. График изменения светимости квазара 3C 273 за много лет

оказалась равной огромной величине —  $10^{47}$  эрг/сек., что превышает светимость десяти триллионов Солнц! Это тем более удивительно, что по размерам квазары гораздо меньше нормальных галактик. Действительно, даже на фотографиях, сделанных при помощи самых мощных современных телескопов, они видны как звездочки, т. е. их угловые размеры меньше секунды дуги. По последним измерениям на радиоинтерферометре (Англия), компонента В квазара 3C 273 имеет угловые размеры меньше  $0'',025$ . Это значит, что линейный размер радиоисточника меньше  $10^{20}$  см (в оптике размеры, по-видимому, и еще меньше), в то время как размер нормальных галактик порядка  $10^{22}$  см.

Об очень малых размерах квазизвездных источников свидетельствует и еще одно обстоятельство. Дело в том, что неожиданно для себя астрономы столкнулись с фактом переменности излучения этих объектов. Сотрудники Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга (Москва) Ю. Н. Ефремов и А. А. Шаров вскоре после отождествления квазара 3C 273 обнаружили переменность его блеска на старых пластинках Московской и Крымской обсерваторий. Одновременно, просматривая старые фотографии из фототеки обсерватории Гарвардского колледжа, Д. Хофлейт и Х. Смит (Иельский университет, США) также обнаружили переменность у квазаров 3C 273 и 3C 48.

Период изменения блеска у 3C 273 оказался порядка 10 лет (рис. 4), а у 3C 48 — около 4 лет. Столь быстрая переменность показывает, что мы имеем дело не с излучением скопления отдельных звезд, а с одним огромным «компактным» объектом. Если бы размеры этого объекта были чересчур велики, свет от разных концов его приходил бы в разные моменты времени и переменность была бы незаметна. Поэтому размеры объекта не должны намного превышать расстояние, которое свет проходит за период колебания светимости, т. е. размер его не больше светового года и, вероятно, достигает, как мы увидим в дальнейшем, одной световой недели! По сравнению с огромной мощностью излучения это очень маленькая величина. Напомним, что наша Галактика, светимость которой в тысячу раз меньше, по своим размерам в сорок тысяч раз больше! Ф. Хойл и У. Фаулер предположили, что квазар — это

огромная сверхзвезда. Оценка массы подобной сверхзвезды, сделанная Я. Б. Зельдовичем и И. Д. Новиковым, дала величину  $10^9 M_{\odot}$  — всего в сто раз меньше массы всей нашей Галактики.

### Квазаги — родственники квазаров

Вскоре после открытия квазаров Аллан Сендидж, исследуя не связанные с радиоисточниками голубые звездочки слабее 16-й звездной величины, наблюдаемые на высоких галактических широтах, пришел к выводу, что большинство из них, как и квазары, являются внегалактическими объектами. Когда были получены спектры четырех из них, предсказание Сендиджа блестяще подтвердилось: «голубые звездочки» действительно оказались внегалактическими объектами, похожими по своим оптическим свойствам на квазары, но без радиоизлучения. Сначала эти объекты стали называть интерлуперами (от английского слова *interlope* — вторгнувшийся, мешающий), а потом за ними укрепилось название «квазизвездные галактики», или «квазаги». Квазагов в единице объема оказалось даже больше, чем квазаров. Вначале Сендидж пришел к выводу, что их больше в 500 раз, но теперь эта цифра снижена до 100.

Что же известно к настоящему времени о квазарах и квазагах? Какими свойствами обладают эти загадочные объекты Вселенной, так неожиданно вторгнувшиеся в наши, казалось бы, устоявшиеся представления о ее населении?

Число объектов с измеренным красным смещением к концу 1967 года перевалило за 120.

Примерно для 10 объектов красные смещения были измерены в нашей стране В. Ф. Есиповым и Э. А. Дибеем на телескопах Крымской астрофизической обсерватории (2,6 м) и Южной Базы ГАИШ (1,25 м) при помощи электронно-оптического преобразователя. Самая близкая из открытых квазигалактик имеет красное смещение  $z=0,064$ , т. е. расстояние до нее около 180 Мпс. Самым близким из известных пока квазаров является 3C 273 ( $z=0,16$ ;  $R=400$  Мпс). Самый же далекий из них — PKS 0237—23 имеет  $z=2,22$  и находится от нас на чудовищном расстоянии — 1600 Мпс.

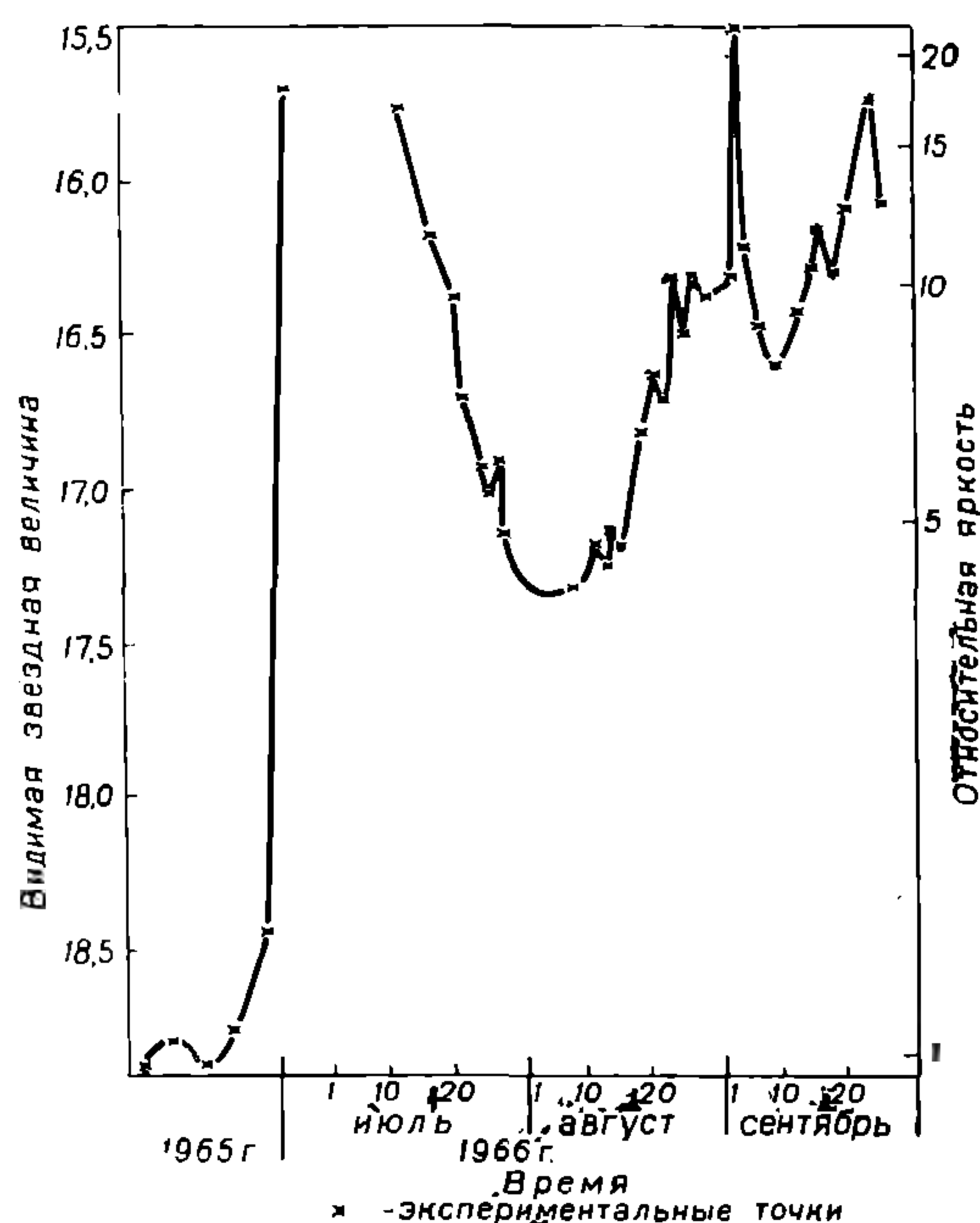


Рис. 5. График изменения светимости квазара 3C 446 за 1965—1966 гг. На графике видны коротко-периодические изменения светимости, которые показывают, что линейные размеры этого квазара не превышают одной световой недели ( $10^{16} \div 10^{17}$  см)

Разница между квазарами и квазагами похожа на разницу между радиогалактиками и обычными галактиками. Квазары и квазаги распределены по небу достаточно хаотично. Хотя и делаются попытки найти какие-то сгущения этих объектов в пространстве, но уверенных результатов пока не получено.

### Основные свойства излучения квазаров

Квазары — объекты очень удаленные, а потому чрезвычайно слабые. Самый близкий к нам и одновременно самый яркий квазар имеет 13-ю звездную величину (человеческий глаз различает на небе лишь звезды шестой величины). Остальные квазары — еще более слабые объекты. Кроме того, основная энергия излучается квазаром в инфракрасной части спектра, трудной для наблюдения. При исследовании квазаров нужна самая современная аппаратура, поэтому не удивительно, что они открыты только в последние годы.

Периодическое изменение яркости обнаружено пока лишь для двух объектов (3C 273 и 3C 48). Нерегулярные же небольшие колебания блеска — явление обычное и даже характерное для квазаров. Причем время изменения блеска колеблется у разных источников от нескольких лет до недель, а амплитуда — в пределах нескольких десятых звездной величины. Известны случаи и более сильных изменений яркости, хотя они, по видимому, и редки. Квазар 3C 2, например, увеличил свой блеск на одну звездную величину (т. е. в 2,5 раза) за 4 года, а квазар 3C 454.3 за год ослаб на 0,85 звездной величины. Но все рекорды побил квазар 3C 446 — меньше чем за год он увеличил свой блеск почти в 20

раз! (Рис. 5). В июле 1965 г. это был очень слабый объект, почти 19-й звездной величины, а через год Сэндидж обнаружил на его месте объект уже 16-й звездной величины. Квазар 3C 446 является сейчас самым мощным из известных нам объектов Вселенной. Его абсолютная звездная величина достигает почти — 29(1), а в максимуме «вспышки», которую, к сожалению, не наблюдали, он, возможно, был ярче.

Первым квазаром, у которого была обнаружена переменность в радиодиапазоне, стал СТА 102. Заслуга этого открытия принадлежит советским радиоастрономам. Наблюдения, проведенные группой Г. Б. Шоломицкого в 1964—1965 гг., обнаружили на длине волны 32,5 см (рис. 6) стодневные колебания радиопотока от этого источника, что соответствует его размеру — меньше  $5 \cdot 10^{17}$  см<sup>1</sup>. К настоящему времени изменения радиопотока обнаружены и у других квазаров. В частности, в широком диапазоне длин волн переменным оказался и квазар 3C 273. Большинство переменных в радиодиапазоне источников до сих пор не разрешены, т. е. их угловые размеры меньше десятых долей секунды. Несколько квазаров имеют в радиодиапазоне две компоненты. Связана ли одна из радиокомпонент с оптически наблюдаемым выбросом вещества, как у 3C 273, или этот факт аналогичен факту двойственности радиогалактик — пока неизвестно.

Для оптических спектров квазаров и квазагов характерно присутствие на фоне непрерывного спектра широких

<sup>1</sup> С переменностью радиопотока от СТА 102 не все ясно. Дело в том, что пока другие наблюдатели не подтвердили его переменности.

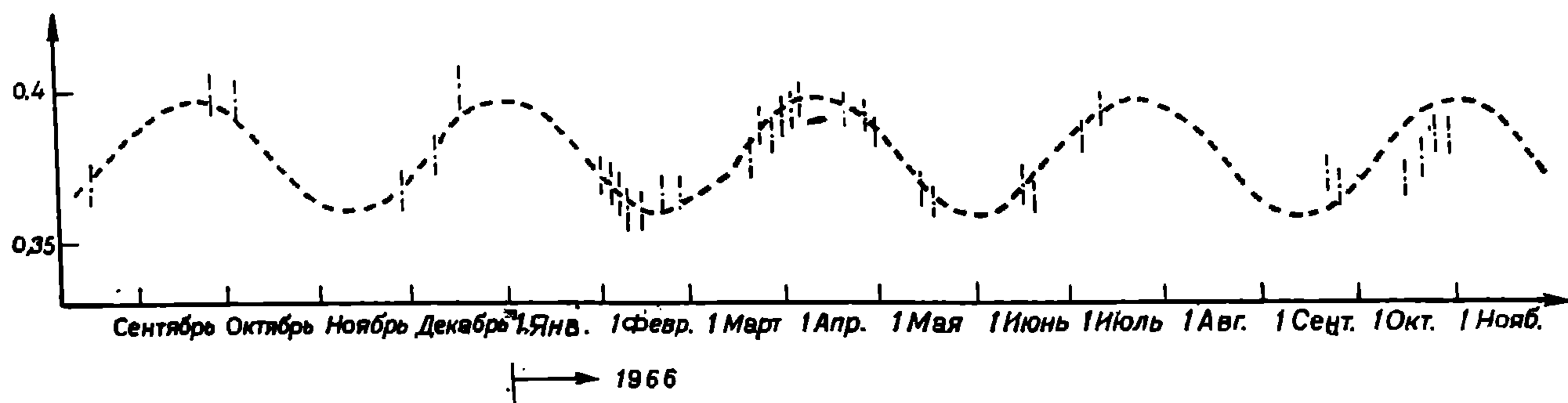


Рис. 6. Изменения яркости источника СТА 102 (по сравнению с постоянным источником ЗС 48) с периодом 100 дней. Одно время предполагали, что эти измене-

ния могут быть результатом искусственных воздействий. Однако никаких подтверждений это предположение в дальнейшем не получило

эмиссионных линий и узких линий поглощения. Причем, как правило, красные смещения линий поглощения не-много меньше красных смещений линий излучения, т. е. линии поглощения какого-то элемента видны со стороны меньших длин волн от линии излучения того же элемента. Это, по-видимому, говорит о том, что излучение от более горячих центральных областей (где образуются широкие линии излучения) проходит через более холодные, внешние области расширяющейся оболочки. В этой оболочке и могут образовываться линии поглощения, сдвинутые в синюю область спектра доплеровским смещением, соответствующим скоростям расширения оболочки в несколько тысяч километров в секунду.

Дальнейшее изучение квазаров несколько уменьшило экзотичность этих объектов. Оказалось, что в их спектрах имеются линии почти всех элементов, присутствующих в атмосферах звезд: углерода, кислорода, натрия, магния, кремния и т. д., вплоть до железа. Вообще говоря, так могло и не быть, если бы квазары образовались из первичного вещества расширяющейся Метагалактики. Тогда они, согласно существующим представлениям, должны были состоять только из водорода и гелия — элементов первичного вещества Метагалактики. Интересно, что в инфракрасной области спектра квазаров наблюдается увеличение интенсивности. Аналогичные увеличения характерны для ядер многих галактик. Особенное сходство, отмеченное И. С. Шкловским, существует в спектрах квазаров и так называемых сейфертовских галактик<sup>1</sup>. На рис. 7 для сравнения приведены спектры квазара ЗС 273 и ядра галактики NGC 1068 в инфракрасной области. В последнее время небольшой подъем интенсивности излучения в инфракрасной части спектра обнаружен для ядра нашей Галактики. Излучение ядер сейфертовских галактик показывает их нерегулярную переменность, похожую на переменность ЗС 273 (это говорит о малых размерах ядер). Общими являются также большая ширина линий, указывающая на суще-

ствование быстрых хаотических движений. На основе этих фактов И. С. Шкловский выдвинул гипотезу, что в ядре сейфертовской галактики находится маленький квазар.

Как показали последние наблюдения, некоторые компактные галактики (галактики N-типа и компактные галактики Цвикки) также изменяют свой блеск в оптике. Причем по интенсивности излучения они занимают промежуточное положение между сейфертовскими галактиками и квазарами. Недавно Дж. Бербидж заметил, что несколько квазаров имеют различные красные смещения для линий излучения, но одинаковые и меньшие по величине для линий поглощения. Для последних красное смещение  $z = 1,95$ . Это явление требует дальнейшей проверки, так как существует трудность отождествления линий для столь далеких и слабых квазаров. Сам Дж. Бербидж в связи с этим фактом выдвинул гипотезу о существовании поглощающего слоя, разлетающегося с такой скоростью, чтобы дать красное смещение 1,95.

Эта гипотеза Дж. Бербиджа возродила к жизни построенную еще в 30-х годах бельгийским физиком Г. Леметром космологическую модель с так называемым космологическим  $\Lambda$ -членом Эйнштейна. В США к ней обратились Э. Сальпетер, В. Петросян и П. Зекерес, а в СССР — И. С. Шкловский и Н. С. Кардашев. В одном из вариантов модели с  $\Lambda$ -членом расширение Вселенной происходит с задержкой и при этом образуется слой, в котором красное смещение постоянно. Этот слой и отождествляется с поглощающим слоем при  $z = 1,95$ . По этой модели время расширения Вселенной от сверхплотного состояния уже не 10, а 70 млрд лет. Принятие гипотезы о существовании такого слоя приводит к новым трудностям и противоречит другим экспериментальным данным.

### Природа излучения

В излучении квазара различают сплошной спектр, линии излучения и поглощения. Линии образуются при электронных переходах между различными энергетическими состояниями в атомах и ионах. Природа сплош-

<sup>1</sup> Класс галактик, открытых американским астрономом К. Сейфертом, отличающихся активными процессами в ядрах.

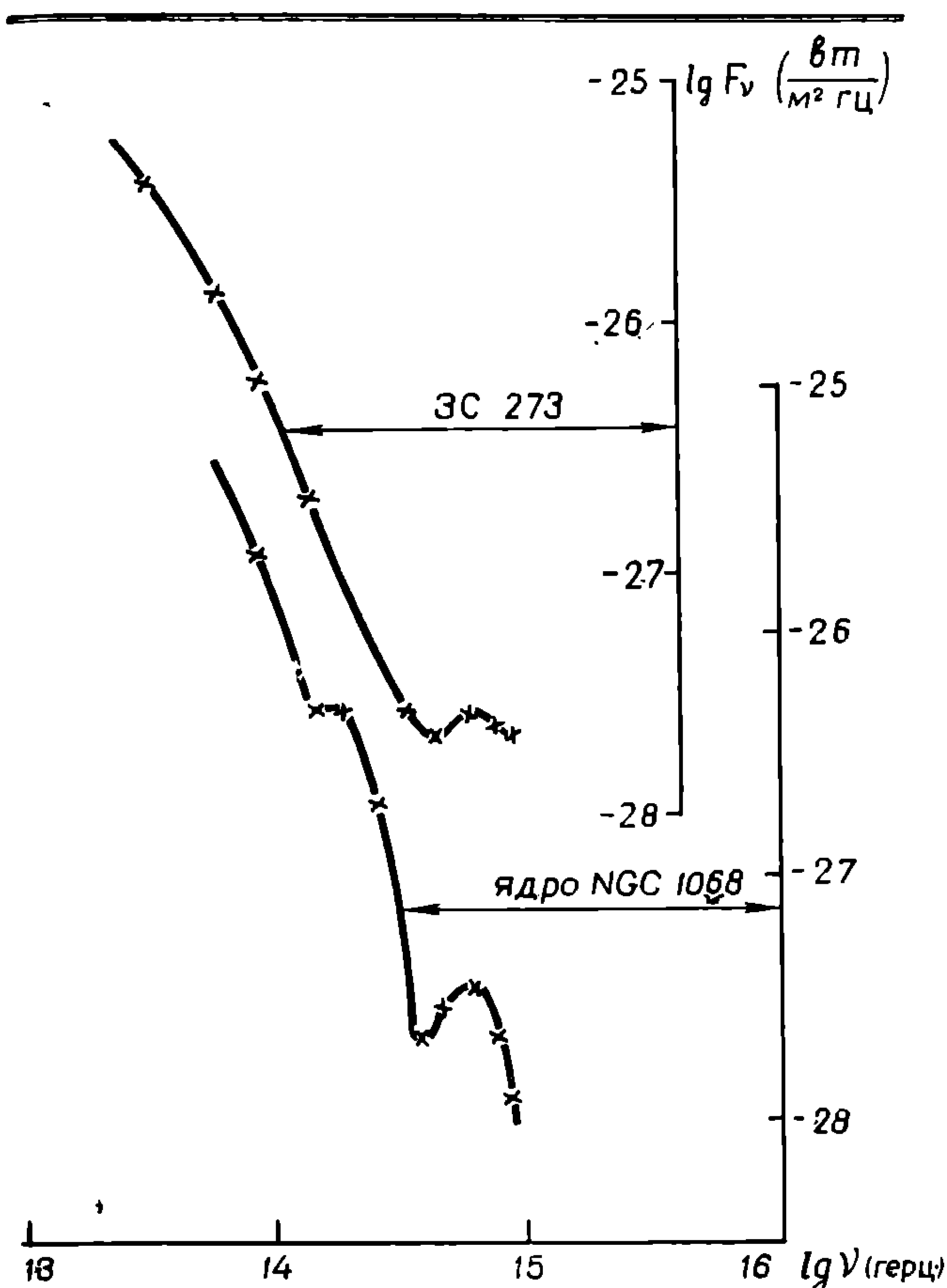


Рис. 7. Сравнение спектров квазара 3C 273 и одной из сейфертовских галактик NGC 1068 в инфракрасной области. Логарифм частоты  $\nu$ , равный 14, соответствует длине волны 3  $\mu$

ного спектра более сложна. Всякое нагретое тело излучает сплошной спектр. В идеальном случае черного тела сплошной спектр описывается формулой Планка. Спектр квазара совсем не похож на планковский. Это показывает, что в нем существуют и другие механизмы излучения. Сплошной спектр возникает также при излучении быстрых электронов, вращающихся в магнитном поле (синхротронное излучение). Оно довольно хорошо подходит для объяснения сплошного спектра квазаров. Однако применение синхротронного механизма для объяснения радиоизлучения квазаров встречается с определенными трудностями. На радиочастотах синхротронное излучение сильно самопоглощается. (Величина этого поглощения теоретически рассчитана В. И. Слышем.) Ввиду самопоглощения синхротронное излучение из данного объема ограничено по мощности. Объем квазара оказался слишком маленьким, чтобы в нем генерировалось столь мощное радиоизлучение. Поэтому В. Л. Гинзбург и Л. М. Озерной предположили существование когерентного плазменного механизма излучения в радиодиапазоне. Для появления такого излучения необходимо существование плазменных волн, т. е. коле-

баний электронной плотности, возникающих в результате различных неустойчивостей. Рассеяние плазменных волн самих на себе, а также на других неоднородностях трансформирует их в электромагнитное излучение, при этом предела мощности излучения из данного объема не существует. Для появления сильного излучения на наблюдаемых радиочастотах нужны большие плотности и сильное отклонение от равновесия (существование сильных пучков). Авторы предполагают, что неравновесности возникают в бесстолкновительных ударных волнах.

Подъем интенсивности в инфракрасной части спектра пока не объяснен. В последнее время обнаруживается все больше фактов существования мазерного излучения из космоса. Не исключено, что учет эффекта мазерного механизма при анализе излучения квазара даст ответ на некоторые неясные вопросы.

### Равновесие и устойчивость квазаров

Согласно идее Хойла и Фаулера, квазар при рассмотрении его равновесия и устойчивости считается большой звездой, в которой сила тяжести уравнивается силой газового, лучистого или магнитного давления, вращением, турбулентностью. В теории устойчивости доказано, что если масса звезды больше двух солнечных масс и центробежная сила инерции много меньше силы давления, то статическая стадия жизни звезды всегда кончается потерей устойчивости, нестационарным процессом — коллапсом или взрывом. Чем больше масса, тем быстрее теряется устойчивость. Огромную массу квазара в  $10^9 M_{\odot}$  очень трудно держать в состоянии устойчивого равновесия. В обычных галактиках условия равновесия совершенно иные, чем в квазарах. Гравитационный потенциал в них гораздо меньше (см. табл.),

|                     | Земля             | Солнце            | Белый карлик Сириус В | Наша Галактика    | Квазар                                  |
|---------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------------------------------------|
| $M_{\odot}$         | $6 \cdot 10^{27}$ | $2 \cdot 10^{33}$ | $2 \cdot 10^{33}$     | $2 \cdot 10^{44}$ | $2 \cdot 10^{43}$                       |
| $R_{cm}$            | $6,4 \cdot 10^7$  | $7 \cdot 10^{10}$ | $1,4 \cdot 10^9$      | $4 \cdot 10^{22}$ | $10^{18} - 10^{19}$                     |
| $GM/Rc^2$           | $6 \cdot 10^{-9}$ | $2 \cdot 10^{-6}$ | $10^{-4}$             | $3 \cdot 10^{-6}$ | $1,5 \cdot 10^{-2} + 1,5 \cdot 10^{-4}$ |
| $\rho_{cp}, g/cm^3$ | 5                 | 1                 | $5 \cdot 10^8$        | $10^{-24}$        | $5 \cdot 10^{-7} + 10^{-12}$            |

а сила тяжести уравнивается движениями отдельных звезд и вращением. Поэтому время устойчивого существования галактик очень велико — больше  $10^{10}$  лет.

Главная отличительная особенность квазара — концентрация огромной массы в сравнительно малом объеме. Это ведет к появлению большого гравитационного потенциала. Интересно сравнить безразмерную величину, характеризующую гравитационный потенциал  $GM/c^2R$ , для различных небесных тел ( $G$  — гравитационная постоянная,  $M$  — масса,  $R$  — радиус,  $c$  — скорость света).

Из таблицы видно, что гравитационный потенциал на поверхности квазара выше, чем у всех наблюдаемых космических тел, только потенциал на поверхности белых карликов может сравниться с ним. В сильных гравитационных полях проявляются эффекты общей теории относительности и закон тяготения отклоняется от ньютоновского: с уменьшением радиуса гравитационная сила растет быстрее, чем  $1/R^2$ , а если радиус достигает величины  $2 GM/c^2$ , сила обращается в бесконечность.

Давление в квазаре определяется в основном излучением. Действительно, если принять, что температура  $T$  внутри квазара  $10^5 \div 10^6$  К, а плотность взять из приведенной таблицы, то отношение давления излучения  $\frac{1}{3}\sigma T^4$  к газовому  $p R_1 T$  ( $\sigma$  — постоянная плотности энергии излучения,  $R_1$  — газовая постоянная) равно  $10^2 \div 10^5$ . В квазаре температура и плотность связаны соотношением  $T^3/\rho = \text{const}$ , поэтому давление и плотность связаны соотношением  $p = K\rho^{4/3}$ , где  $K$  — постоянная, зависящая только от условий в центре звезды.

Такое уравнение состояния — связь между давлением и плотностью — обладает замечательной особенностью при рассмотрении равновесия звезды. Если разность давлений в центре и на поверхности уравнивает силу тяжести, то приближенно  $p/R = \rho GM/R^2$ ,  $p = \rho GM/R = K_1 \rho^{4/3}$ , так как  $R \sim \rho^{-1/3}$ . Таким образом, сила тяжести тоже растет пропорционально  $\rho^{4/3}$ ,  $K_1$  зависит только от массы. Если уравнение состояния имеет вид  $p = K\rho^n$ , то при  $n > 4/3$  сила давления растет быстрее гравитационной, и если начнется сжатие за счет избытка гравитационной силы или расширение из-за ее малости, то оно остановится при некоторой плотности. Если  $n < 4/3$ , то при сжатии сила давления растет медленнее гравитационной и, начав сжиматься, звезда уже не остановится; она не остановится и начав расширяться. Когда же  $n = 4/3$ , равновесие для данной массы существует лишь при одном значении  $K$ . Если при  $p = K\rho^{4/3}$  звезда или квазар излучит энергию и  $K$  уменьшится, то сила давления станет меньше гравитационной и звезда сколлапсирует (быстро сожмется).

Из этого рассуждения видно, что в тех случаях, когда основная часть давления зависит от плотности как  $\rho^{4/3}$ , малые добавки к уравнению состояния, имеющие другую зависимость от плотности, или малые изменения закона тяготения за счет общей теории относительности приобретают решающую роль. Это впервые было отмечено С. А. Капланом в 1949 г. Добавкой к уравнению состояния, ведущей к более быстрому, чем  $\rho^{4/3}$ , росту давления, служит давление плазмы, а поправки на общую теорию относительности ускоряют рост гравитационной силы. С учетом этих двух поправок время жизни квазара в устойчивом состоянии оказывается около 10 лет. Таким образом, давление, аналогичное давлению в звездах, совершенно недостаточно для объяснения существования квазара как устойчивой системы. Большую длительность жизни квазара могут обеспечить другие способы стабилизации: вращение и турбулентность. Первая возможность была высказана

Фаулером, вторая рассматривалась в работах Лейзера, Озерного, Бардина, Ананда, Пахольчика.

Когда момент вращения постоянен, центробежная сила растет пропорционально  $\rho^{5/3}$ , в отсутствие затухания по такому же закону растет турбулентное давление. Оба эти фактора стабилизируют квазар. Рассмотрим сначала вращение.

Излучая энергию, квазар медленно сжимается. Если момент вращения при этом сохраняется, то скорость вращения увеличивается и наступит время, когда центробежная сила станет настолько большой, что вещество начнет улетать с экватора, унося с собой момент вращения и массу. Если рассматривать большие моменты вращения, то истечение начнется при больших радиусах. Но эти радиусы не должны намного превосходить наблюдаемые, поэтому и моменты вращения должны быть невелики. Тогда энергия вращения будет много меньше тепловой энергии, а форма мало отличной от шара. До начала истечения время жизни вращающегося с постоянной угловой скоростью квазара не больше  $3 \cdot 10^3$  лет. Однако после начала истечения он сохраняет устойчивость, но продолжает медленно сжиматься, излучая энергию и теряя одновременно массу и момент вращения.

Расчет эволюции квазара с массой в  $10^9 M_\odot$  в режиме истечения был сделан недавно в работе Я. Б. Зельдовича, И. Д. Новикова и Г. С. Бисноватого-Когана. Если квазар вращается как твердое тело, то время его жизни до потери устойчивости может составить  $3 \cdot 10^4$  лет. Если же вращение не твердотельное и угловая скорость убывает к поверхности, то время жизни квазара до начала истечения может быть гораздо больше. При самом благоприятном законе изменения угловой скорости время жизни до начала истечения (по Фаулеру) может составить  $5 \cdot 10^6$  лет. Момент вращения, необходимый для поддержания твердотельно вращающегося квазара в равновесии в течение  $3 \cdot 10^4$  лет в расчете на единицу массы, все еще в тысячу раз меньше среднего удельного момента нашей Галактики. Скорости вращения у поверхности должны достигать 0,1 скорости света, в то время как наблюдаемые скорости приблизительно в десять раз меньше. Это, возможно, обусловлено тем, что в оболочке, которую мы видим, скорость вращения затухает при трении об окружающий газ или при взаимодействии с внешним магнитным полем. Таким образом, представление о квазаре как о быстровращающейся сверхмассивной звезде достаточно удовлетворительно.

Большая ширина линий, наблюдаемая в спектрах квазаров, может свидетельствовать как о быстром вращении, так и о сильной турбулентности. Так же как и центробежная сила вращения, турбулентное давление в отсутствие затухания растет как  $\rho^{5/3}$  и может стабилизировать квазар.

Турбулентное вещество состоит из множества различных по масштабу и скорости вихрей. Чем меньше масштаб вихря, тем быстрее его кинетическая энергия переходит в тепло. Взаимодействие вихрей ведет к пере-



Рис. 8. Фотография квазара 3C 273. Хорошо виден выброс. Этот выброс — рукав оказывается радиоизлучающим

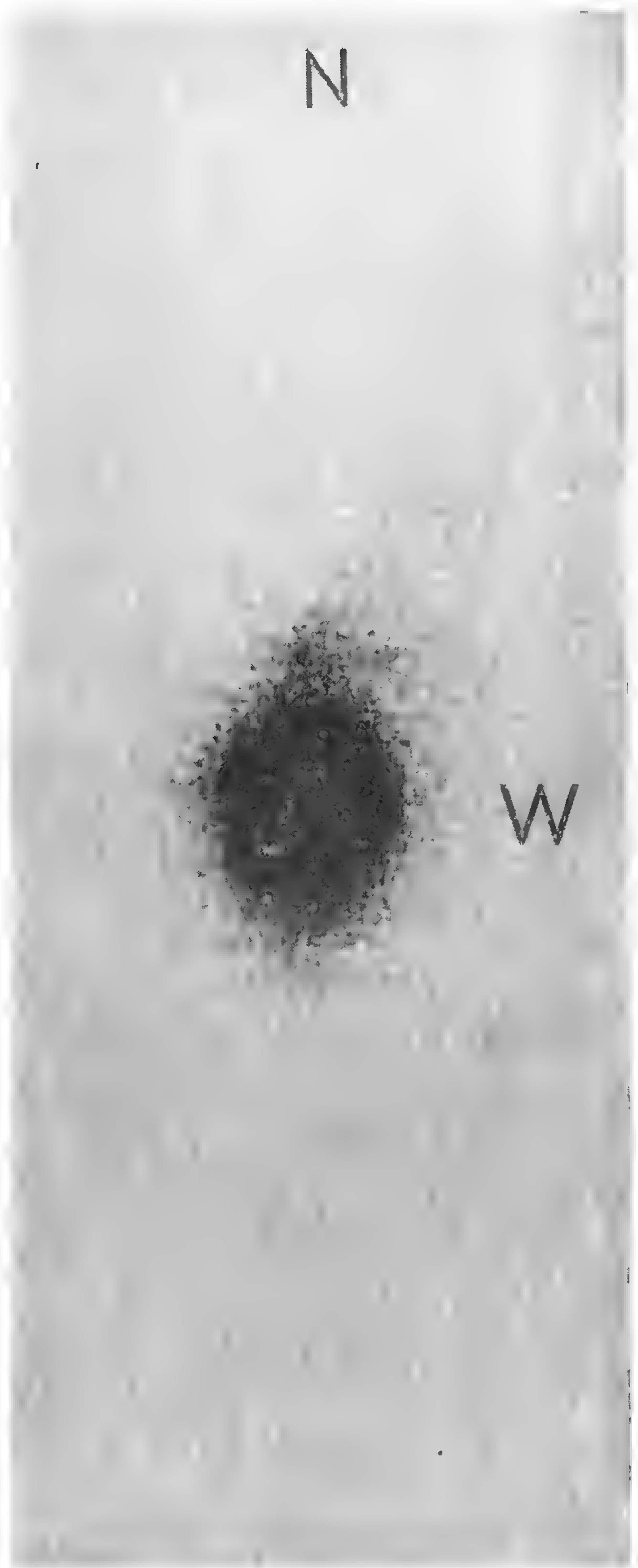


Рис. 9. Фотография квазара 3C 48. Видны образования, напоминающие выброс из 3C 273

качке энергии из крупномасштабных вихрей в мелкомасштабные. Турбулентная среда находится в равновесии, если приток энергии к крупным вихрям компенсирует уход энергии из мелкомасштабных вихрей в тепло. Характерное время затухания турбулентности тем больше, чем больше масштаб и чем меньше средняя скорость; приближенно оно равно  $R/v$ , где  $R$  — размер системы, по порядку величины равный наибольшему масштабу турбулентности, а  $v$  — средняя скорость. Чтобы время затухания было не меньше времени жизни квазара, например  $3 \cdot 10^4$  лет, нужно, чтобы средняя скорость турбулентности была не больше  $3 \cdot 10^5$  см/сек. Такая скорость слишком мала для стабилизации в течение  $3 \cdot 10^4$  лет; для этого нужна скорость  $10^9$  см/сек. Поэтому предполагают, что затухание турбулентности сильно замедляется магнитным полем. Учитывая возможность такого большого влияния магнитного поля на строение квазара, магнитотурбулентная модель квазара в работе Л. М. Озерного была названа «магнитоидом».

Если магнитная турбулентность достаточно развита, то магнитное поле не спасает положения. Более того, в мелких масштабах наряду с вязким затуханием будет сильна джоулева диссипация (т. е. выделение тепла в плазме при протекании по ней электрических токов), которая приведет к такому же или меньшему времени затухания, что и в отсутствие магнитного поля. Магнитное поле может оказаться настолько сильным, что подавит мелкомасштабную турбулентность. Для этого магнитное поле при скоростях  $10^9$  см/сек должно доходить до  $10^6 \div 10^7$  эрстед, а из радионаблюдений следует, что в области, где образуется радиоизлучение, существуют поля лишь в  $10^{-3} \div 10^{-5}$  эрстед!

Существует еще один механизм затухания турбулентности. Если скорость приближается к скорости звука, то начинают образовываться ударные волны, в которых происходит быстрая перекачка кинетической энергии в тепло. Для существования квазара в течение  $3 \cdot 10^4$  лет необходима средняя скорость турбулентности в 0,3 звуковой. При этих скоростях имеется уже много турбулентных элементов с  $v \approx v_{zv}$  и возможно быстрое затухание даже при подавленной мелкомасштабной турбулентности.

Магнитная турбулентность, бесспорно, присутствует в квазаре, но в результате затухания она, вероятно, недостаточно сильна, чтобы играть главную роль в его стабилизации.

## Другие теории квазаров

Существуют другие точки зрения на квазары. Ф. Хойл, М. и Дж. Бербиджи предполагали, что красное смещение в квазарах объясняется не космологическим расширением, а движением с большой скоростью на незначительном от нас расстоянии, возможно, в пределах Галактики. Такая скорость могла быть приобретена при выбросе в результате какого-либо взрыва. Если расстояние невелико, полная энергия излучения и масса ква-

зара тоже невелики и трудности, связанные с устойчивостью, отпадают. Проведенные недавно измерения А. Келлера и Б. Робинсона показали, что свет от квазара поглощается в скоплении галактик Дева, таким образом, предположение о возникновении в нашей Галактике квазаров опровергается.

Ф. Хойл и Дж. Нарликар выдвигали гипотезу существования некоего  $C$ -поля, противодействующего гравитации вплоть до  $2 GM/c^2$  и устраняющего неустойчивости. Сразу после обнаружения Дж. Бербиджем различных красных смещений в линиях поглощения и испускания, Хойл и Фаулер предположили, что квазар — система нейтронных звезд с общей массой  $10^{12} M_{\odot}$ . Красное смещение имеет не космологическую природу, а образуется вследствие большого гравитационного потенциала. В линиях поглощения красное смещение меньше, так как они образуются во внешних областях с меньшим гравитационным потенциалом. Строение квазаров должно быть таким, чтобы в области образования линий поглощения гравитационный потенциал был бы одинаков для различных объектов и соответствовал красному смещению 1,95.

Все перечисленные гипотезы — чисто качественные и не подкрепляются точными расчетами. Необычность их вызвана исключительностью свойств квазаров, которые должна объяснить теория.

## Квазары и межгалактическая среда

Проблема квазаров оказалась тесно связанной с проблемой межгалактической среды. Связь эта двоякая. С одной стороны, вопрос о рождении объектов типа квазаров не может быть решен без знания условий и состава межгалактической среды. По существующим представлениям, подтвержденным экспериментами, Вселенная в далеком прошлом была «горячей»<sup>1</sup>. Следовательно, в химический состав межгалактической среды должны были входить: 70% водорода и 30% гелия (по весу). Но тогда не очень понятно, как в таких сравнительно недолго живущих ( $10^4 \div 10^6$  лет) объектах, как квазары, успели появиться тяжелые элементы. Казалось бы, образовавшись из межгалактической среды, квазары должны сохранить основные черты ее химического состава. Но этого почему-то не наблюдается.

С другой стороны, межгалактическая среда должна накладывать свой «отпечаток» на излучение квазара. Действительно, излучение, идущее к нам от далеких квазаров, проходит через большие толщи межгалактического вещества и в нем поглощается. Так как межгалактическая среда состоит в основном из водорода, то сильное поглощение должно наблюдаться в линии  $L_{\alpha}$  (1216 Å). С учетом красного смещения поглощение в спектре источника с данным  $z$  надо искать на длинах волн  $\lambda < 1216 \cdot (1 + z)$ , причем линия размажется в полосу, т. к. поглощение обусловлено атомами среды, которые также подчинены красному смещению. Попытка найти такое поглощение в спектре квазара была

<sup>1</sup> «Природа», 1966, № 11, стр. 54—62; УФН, 1966, № 8,

предпринята Дж. Ганном и Б. Петерсеном. Они нашли, что плотность частиц нейтрального водорода в межгалактической среде меньше или равна  $5 \cdot 10^{-11} \text{ см}^{-3}$ . Впоследствии эта оценка была снижена до  $10^{-11} \text{ см}^{-3}$ . Таким образом, если межгалактический газ существует в таких количествах, чтобы иметь космологическое значение (критическая плотность для космологии  $\rho = 10^{-5} \text{ см}^{-3}$ ), то он должен быть сильно ионизован и, следовательно, иметь очень высокую температуру. Такой вывод может иметь важное значение для понимания тепловой истории Вселенной.

На пути к нам излучение от квазара может проходить и через области скоплений галактик, где плотность частиц межгалактической среды много выше (достигает  $10^{-3} \text{ см}^{-3}$ ).

Газ, находящийся внутри скопления галактик, подвержен одному и тому же космологическому красному смещению (он составляет в этом смысле единое целое со всем скоплением), поэтому в спектрах квазаров, лежащих за скоплениями, мы должны видеть узкие линии поглощения, смещенные от соответствующих линий излучения квазара на  $\Delta\lambda = \lambda_0 \Delta z$ , где  $\Delta z$  — разность красных смещений квазара и скопления. Такая картина, по видимому, действительно наблюдается в спектре квазара PHL1116+12.

В спектре этого источника видны три узкие линии поглощения, которые можно отождествить с линиями  $L_{\alpha}$  (1216 Å), NV (1240 Å) и CIV (1550 Å), если принять  $z_{\text{скопления}} = 1,95$ . Красное смещение самого квазара, определенное по смещению линий излучения, равно 2,118. Таким образом, спектр этого источника можно объяснить, если считать, что он находится на расстоянии около 250 Мпс за далеким скоплением галактик. С такой же ситуацией мы как будто сталкиваемся и в случае квазара 3C 9, хотя тут еще требуется проверка.

Мы видим, что мощное излучение квазаров позволяет использовать их в качестве своеобразных «щупов», открывающих нам неожиданную возможность заглянуть в глубины Вселенной.

Из всего рассказанного здесь о квазарах может сложиться впечатление, что нам известно о них уже очень много. Действительно, за время, прошедшее с момента их открытия, мы узнали об этих объектах достаточно, чтобы понять и удивиться необычности их свойств. Но, с другой стороны, наших знаний пока не хватает для объяснения природы этих объектов, для понимания процессов, происходящих в них, и условий, необходимых для их образования. Поэтому не удивительно, что еще нет законченной теории или модели квазаров, хотя целый ряд попыток в этом направлении уже был сделан.

Откуда произошли квазары и квазаги и во что они превращаются

Возможно, квазары являются предшественниками радиогалактик, а квазаги — обычных галактик. Причины,

вызывающие такие превращения, совершенно не известны. Может быть, это те таинственные *D*-тела, которые, согласно В. А. Абарцумяну, должны быть предшественниками звезд и галактик. Аргументом в пользу такой точки зрения служат наблюдаемые взрывы и выбросы больших масс вещества в ядрах некоторых галактик (например, M82, Дева А)<sup>1</sup> и в квазарах. Эти выбросы хорошо видны на снимках квазаров 3C 273 и 3C 48 (рис. 8 и 9). В рамках общей теории относительности И. Д. Новиковым построена модель *D*-тел как задержавшихся ядер в расширяющейся Вселенной.

Квазаров и квазагов много меньше, чем галактик, они не объединены в скопления. Поэтому можно предположить, что эти объекты — предшественники целых скоплений, при этом квазар должен быть предшественником скопления с радиогалактикой. Есть другая точка зрения, по которой квазары и квазаги — последние стадии эволюции галактик. За это, в частности, говорит присутствие в них тяжелых элементов, которые могли образоваться при сгорании в звездах водорода и гелия. Слишком быстрыми были бы только темпы эволюции таких галактик.

И, наконец, третья точка зрения: квазары и квазаги — совершенно уникальные объекты, которые не прошли и не пройдут стадию галактик и радиогалактик.

Вопрос дальнейшей эволюции квазаров естественно разрешается в рамках первой гипотезы. Если придерживаться второй и третьей точек зрения, то квазар неизбежно должен сколлапсировать и превратиться в огромный застывший объект, невидимый и проявляющий себя только гравитационным полем.

Известные квазары имеют красные смещения  $0,16 < z < 2,224$ . Мощность квазаров такова, что их можно было бы видеть до  $z=5$ . Не является ли область Вселенной, где  $z = 2 \div 3$ , местом рождения квазаров? Мощность обычных галактик недостаточна, чтобы видеть их на расстояниях  $z > 1$ , хотя радиогалактики можно обнаруживать в радиодиапазоне так же далеко, как квазары. Возможно, наряду с квазарами при  $z > 1$  существует такое же число галактик, как и в окрестности нашей Галактики; тогда взаимные превращения галактик и квазаров маловероятны. Место квазаров в эволюции Метагалактики еще не найдено.

Квазары с огромным трудом умещаются в рамках современной физики. Новые наблюдательные факты несут с собой все новые и новые противоречия. Загадка квазаров — одна из основных проблем современной астрофизики.

УДК 523.11

<sup>1</sup> «Природа», 1965, № 4, стр. 41.

# Мировой океан и его будущее

Профессор С. В. Михайлов



Стефан Васильевич Михайлов, доктор экономических наук, лауреат Государственной премии, преподаватель Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. С. В. Михайлов — автор многочисленных трудов по экономике океана, в число которых входят такие книги, как «Экономика рыбной промышленности СССР», «Экономика Мирового океана» и другие. Сейчас проф. С. В. Михайлов заканчивает монографию «Мировой океан и Человечество».

Мы говорим о будущем Мирового океана, имея в виду не физико-географическую, а экономическую сторону вопроса. В исторически обозримой перспективе ни катаклизмов, ни каких-либо иных существенных изменений физических процессов в Мировом океане не ожидается. А вот в экономическом значении морей и океанов изменение произойдет и причем значительное. Моря и океаны, по образному выражению известного советского географа Н. Н. Баранского, — это «экономическое солнце» страны. Академик С. Г. Струмилин считает, что экономика будущего общества будет прежде всего экономикой Мирового океана.

Рыбная промышленность или промышленность водных продуктов, как она называется в некоторых странах, занимающаяся эксплуатацией биологических ресурсов Мирового океана, в настоящее время определяет его экономический профиль. На ее долю приходится примерно 70% (1965 г.) общих доходов человечества от морей и океанов. Ведущее положение рыбной промышленности сохранится в перспективе и на 2000 г.

Современные мировые уловы рыбы и других промысловых объектов превысили 50 млн. т в год, из которых около 90% приходится на долю морей и океанов. К 2000 г. они увеличатся минимум в два раза. По мнению английского ихтиолога Д. Кушинга, это произойдет уже в ближайшие 10—20 лет. Вместе с тем показательно снижение среднегодового прироста мировых уловов с 33 млн ц в 1955—1960 гг. до 23 млн ц в 1960—1965 гг. Особенно незначительным был прирост в 1965 г. — всего 4 млн. ц. Это был самый низкий показатель за всю историю мирового рыболовства в XX столетии, исключая, разумеется, периоды мировых войн. И это происходит при непрерывном и очень значительном росте интенсивности мирового рыболовства!

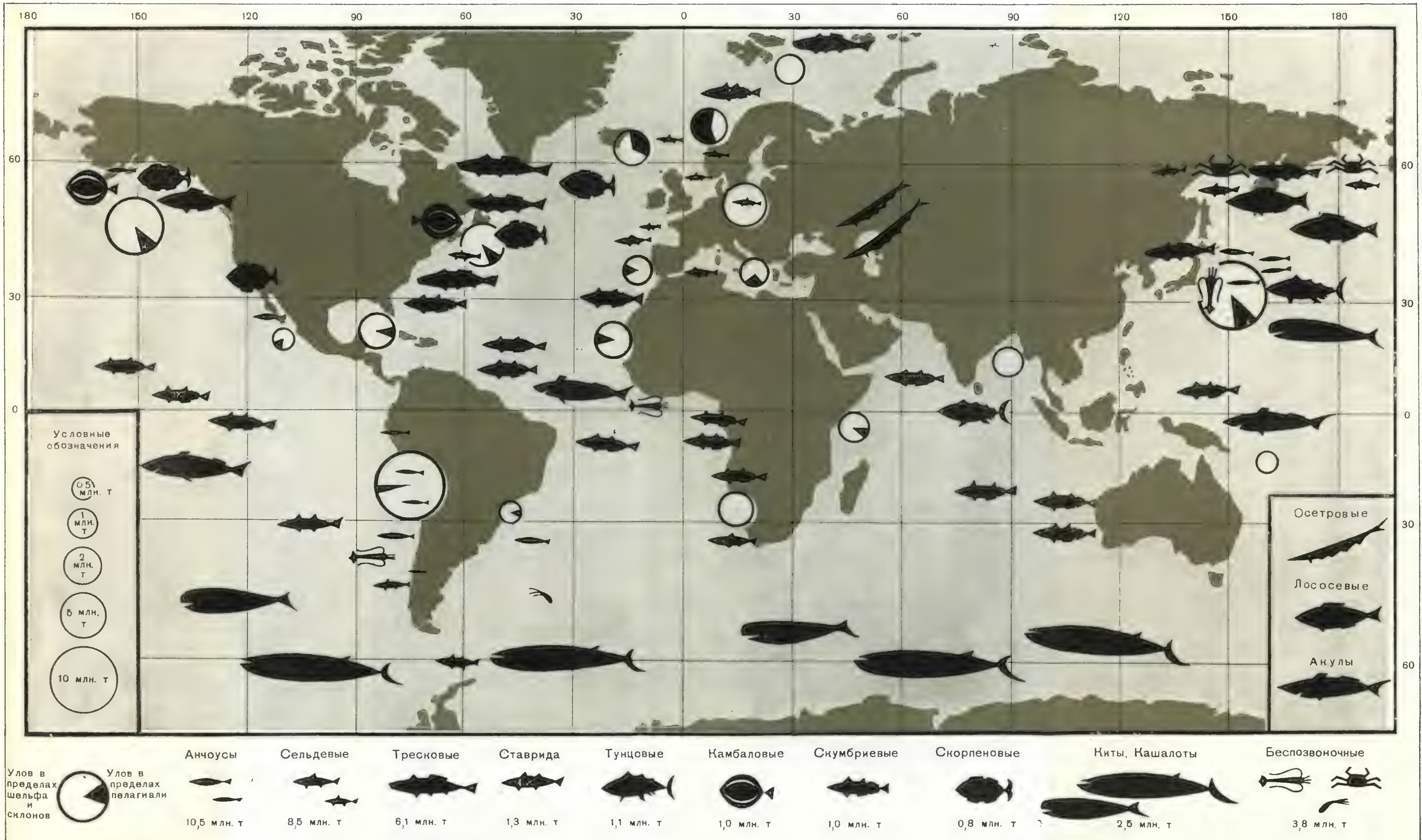
Сокращение прироста мировых уловов обусловлено неравномерным размещением современного рыболовства, приуроченностью его главным образом к районам континентального шельфа, где добывается 85—90% общего улова рыбы и других промысловых объектов (без китов) в Мировом океане (Г. В. Мартинсен). Глубоководные районы, районы материкового склона, батииали и абиссали почти не облавливаются; их рыбные и другие биологические ресурсы становятся жертвой хищников или обречены на естественную смерть.

К 2000 г. должно произойти вовлечение в интенсивную промысловую эксплуатацию глубоководных и открытых районов Мирового океана, что позволит увеличить уловы в два раза против современного уровня и будет озна-

---

Сахадин. В Холмском порту сгрузили рыбу (1). Выборка трала с богатым уловом морского окуня на морозильном траулере «Николай Островский» (2). Добытые киты ждут очереди для разделки (3). Разделка туши кита (4)

Фото ТАСС



Биологические ресурсы Мирового океана и их промысел (по П. А. Моисееву)



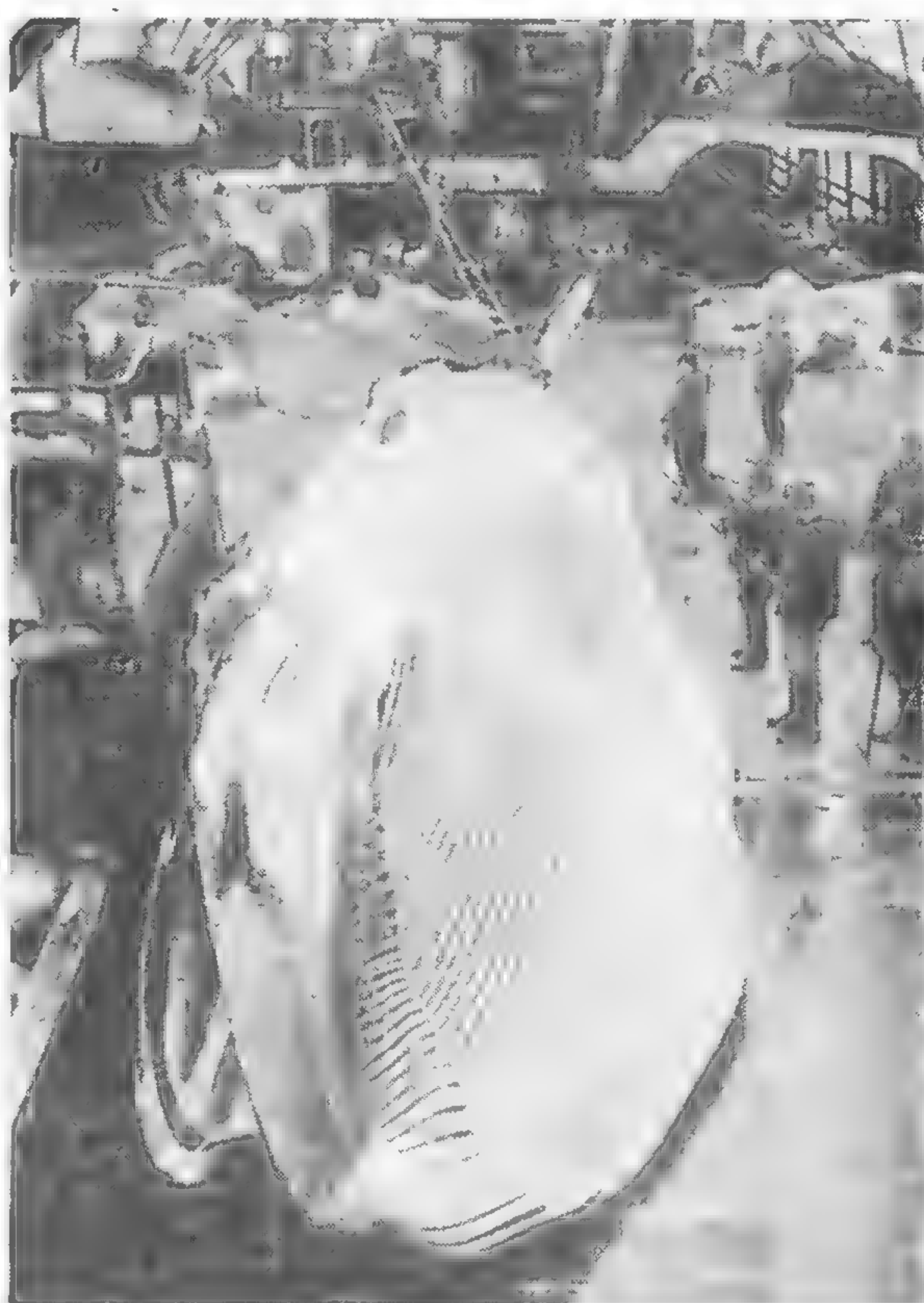
1



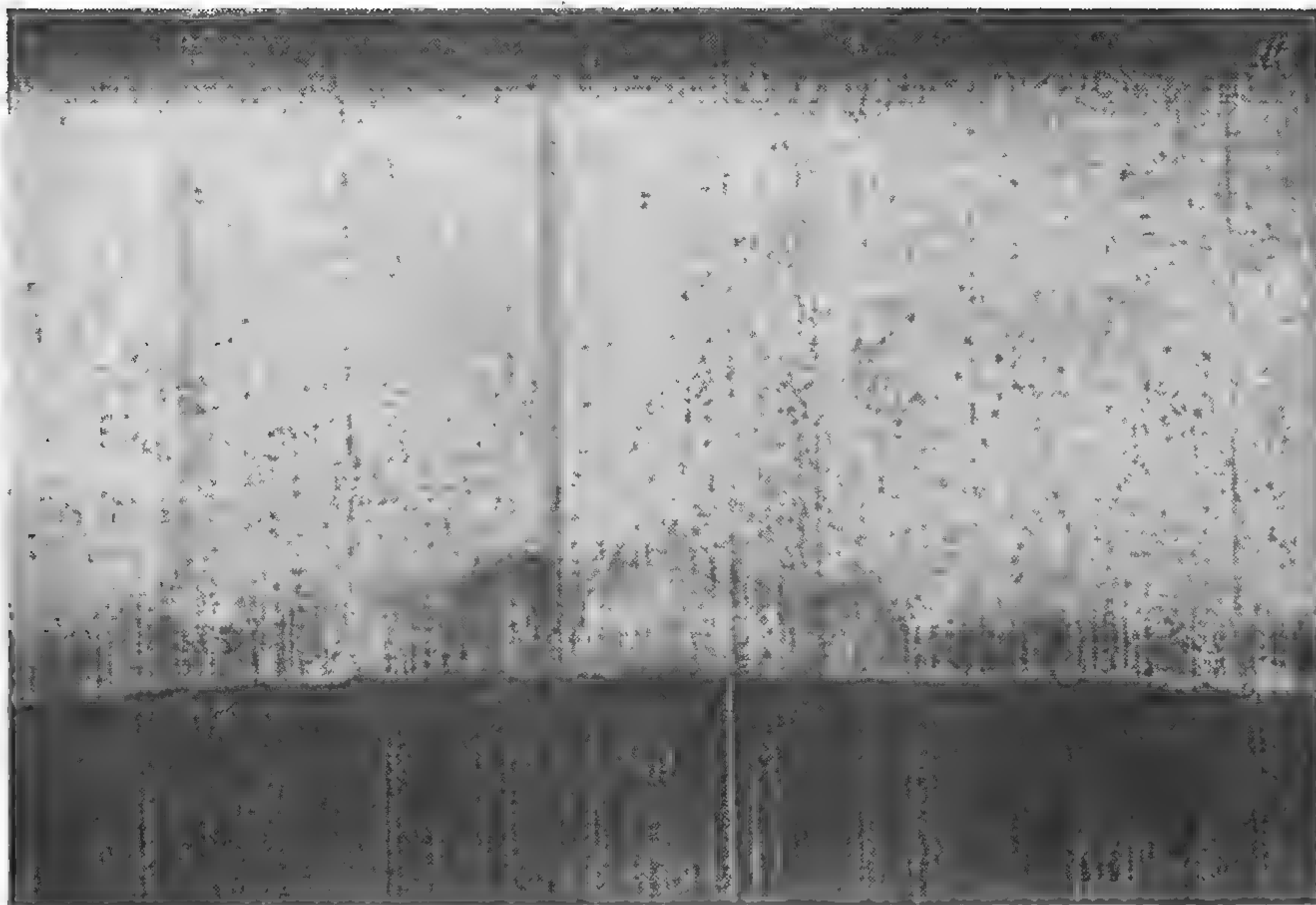
3



2



4



Эхолотная запись скопления окуня на  
банке Копытова

чать более рациональное размещение рыболовства в океане<sup>1</sup>.

Однако при увеличении уловов в Мировом океане до 100 млн т в год и росте населения на земном шаре к 2000 г., как это полагают демографы, до 6—6,5 млрд человек, средние уловы на душу населения останутся теми же 15—16 кг, что и в настоящее время. Это значит, что примерно тем же останется и место Мирового океана в поставке продовольственных ресурсов человечеству. А оно пока невелико: 13—15% по белкам и 3—4% по жирам животного происхождения, что в пересчете на калорийность составляет всего 1% к общим пищевым ресурсам, потребляемым населением мира.

Для повышения роли Мирового океана в продовольственных ресурсах человечества помимо более полного использования рыбных ресурсов и проведения широких мероприятий по их искусственному воспроизводству, необходима также организация промысла нерыбных объектов. Среди последних особого упоминания заслуживают кальмары, запасы которых в Мировом океане колоссальны. Некоторые исследователи оценивают их в 20 млн т. Десятками миллионов тонн определяется биомасса рачка *Euphasia superba*, скопления которого в Антарктике известны под названием криль. По заявлению английского ученого А. Харди, криль через 20 лет станет важнейшим источником снабжения человечества продовольствием. Опыты приготовления пищевых продуктов из криля, проведенные на научно-промысловом судне ВНИРО «Академик Книпович» в 1966—1967 гг., дали обнадеживающие результаты.

Освоение промысла криля и других планктонных организ-

мов, кроме того, позволит расширить сырьевую базу мучного производства (выработка рыбной муки уже превысила 3 млн т, вместе с рыбными бульонами она приблизилась в 1965 г. к 4 млн т), необходимого для дальнейшего развития домашнего птицеводства и животноводства.

Однако, несмотря на ведущее положение рыбной промышленности, на рост уловов в два раза, к 2000 г. произойдет уменьшение удельного веса рыболовства в экономике Мирового океана на 55%. Спрашивается, чем это можно объяснить?

Произойдет это за счет развития новых отраслей морского хозяйства, прежде всего за счет бурения на нефть и создания морской «горной» промышленности. Морское бурение на нефть и газ развивается весьма быстрыми темпами. Если в 1960 г. в морях и океанах добыто около 100 млн т нефти, то в 1965 г. уже 240 млн т, а в 1966 г. более 270 млн т, что составляет 16—17% общей добычи в мире.

В настоящее время морское бурение в Мировом океане ведется от Аляски до Перу, у берегов Мексики и Европы, Африки и Калифорнии. Оно ведется почти во всех районах континентального шельфа: в одних — поисковое, в других — промышленное, в третьих — то и другое. Общее количество буровых установок приближается к 200. Большая часть их приходится на Мексиканский залив, где капитальные вложения в добычу нефти превысили 500 млн долларов.

Основная причина интереса к морскому бурению кроется в ограниченности достоверных запасов нефти на суше, а также в отсутствии нефти на территории ряда стран. Достоверные запасы ее на суше (в капиталистических странах) по оценке на 1 января 1962 г. были определены в 38 млрд, в 1963 г. — 39,1 млрд, 1966 г. —

<sup>1</sup> Эта возможность отмечалась на 2-м Международном океанографическом конгрессе, происходившем в Москве летом 1966 г. Ее реальность признает и ФАО при ООН.

43,6 млрд, 1967 г.—44,2 млрд т. Они увеличиваются примерно на 1 млрд т в год. Добыча же нефти достигает 1,5 млрд т в год.

По американским данным, мировая добыча нефти в 1970 г. увеличится на 40% против современного уровня. Если допустить, что запасы на суше занижены в два-три раза, то и в этом случае сухопутные месторождения могут обеспечить потребности мирового хозяйства в нефти и нефтепродуктах всего лишь на несколько десятков лет. По данным Международного энергетического конгресса (Австралия, 1962 г.) — максимум на 60 лет. Таким образом, запасы «черного золота» на суше в странах капиталистического мира близятся к концу.

Мировая потребность в нефти (по прогнозу 43 съезда Американского нефтяного института) увеличится в 2000 г. до 9,1 млн т в сутки, т. е. примерно в 3 раза против современного уровня, а в год это составит 3,2—3,5 млрд т (без СССР и других стран социалистического лагеря). Запасы же «морской» нефти даже при современной совершенно недостаточной их разведанности оцениваются специалистами от 60 до 150 млрд т (эти цифры приводились на Съезде по международному морскому праву в Женеве в 1958 г.). На съезде Американского нефтяного института в Чикаго (1949 г.) отмечалось, что запасы нефти на шельфе Мирового океана составляют 160 млрд. м<sup>3</sup>, т. е. порядка 120 млрд т.

Еще более значительные цифры называет американский геолог Уик, который всю площадь шельфа и верхней части континентального склона до глубины 305 м (27,9 млн км<sup>2</sup>) считает перспективной на нефть и газ. Он делит ее на категории А и В — наиболее перспективные, С — малоперспективные и D — неперспективные. По его данным, площадь А, В и С составляет 57% общей поверхности шельфа или одну треть всех нефтегазовых бассейнов суши. Потенциальные ресурсы нефти и газа по категориям А и В он определяет в 94,6 млрд т.

Если к этому добавить возможное извлечение из пород, вмещающих нефть, вторичными методами 40,5 млрд т, наличие углеводородов в нефтеносных песках — 27 млрд т, в битумных породах — 135 млрд т и в углеводородных газах — 40,5 млрд т, то общие ресурсы нефти в Мировом океане составят 337,6 млрд т. А к 2000 году, учитывая, что дебит нефтяных скважин в море, как правило, больше, чем на суше, в зоне шельфа будет добываться не менее 800—900 млн т нефти в год. В морях и океанах, по заявлению председателя правления нефтяной компании «Шелл», в ближайшие 25 лет будет открыто не менее одной четвертой части всех новых нефтяных и газовых месторождений.

Десять лет назад морское бурение на нефть на глубине 15 м считалось рискованным. Теперь намечается бурение на глубине до 180 м и ставится вопрос об освоении районов с глубинами до 300 м, которые считаются нефтегазоносными. Это значит, что 8—10% площади дна

Мирового океана в недалеком будущем покроются нефтяными вышками.

Технический прогресс, открывающий возможность сближения показателей затрат на нефтяное бурение на суше и в море позволяет верить, что будущее нефтяной промышленности лежит в недрах Мирового океана.

Вместе с развитием морского бурения появилась грозная опасность загрязнения морей и океанов. В настоящее время основными источниками загрязнения морей, как и внутренних водоемов, служат танкеры и промышленно-коммунальные предприятия побережий. Значительно большую опасность представляет морское бурение. Опыт Южного Каспия показывает, что при морском бурении 10% добычи нефти попадает в море, убивая органическую жизнь на дне, в толще воды и на ее поверхности. Каждая тонна нефти, попавшая в море, загрязняет 12 км<sup>2</sup> его площади<sup>1</sup>.

Если по аналогии с Каспием допустить, что 10% или 24—27 млн т «морской» нефти ежедневно попадает в Мировой океан в виде утечек при бурении и 3—5 млн т при ее перевозках по морским путям, то это значит, что на каждый кубический километр воды в океане приходится 18 кг нефти. К 2000 г. при существующем положении с морским бурением эта цифра увеличится до 60—70 кг/км. Вероятно, через 250 лет загрязненность Мирового океана достигнет уровня загрязненности Каспийского моря. А что такое 250 лет в исторической перспективе? Это жизнь лишь 4—6 поколений людей.

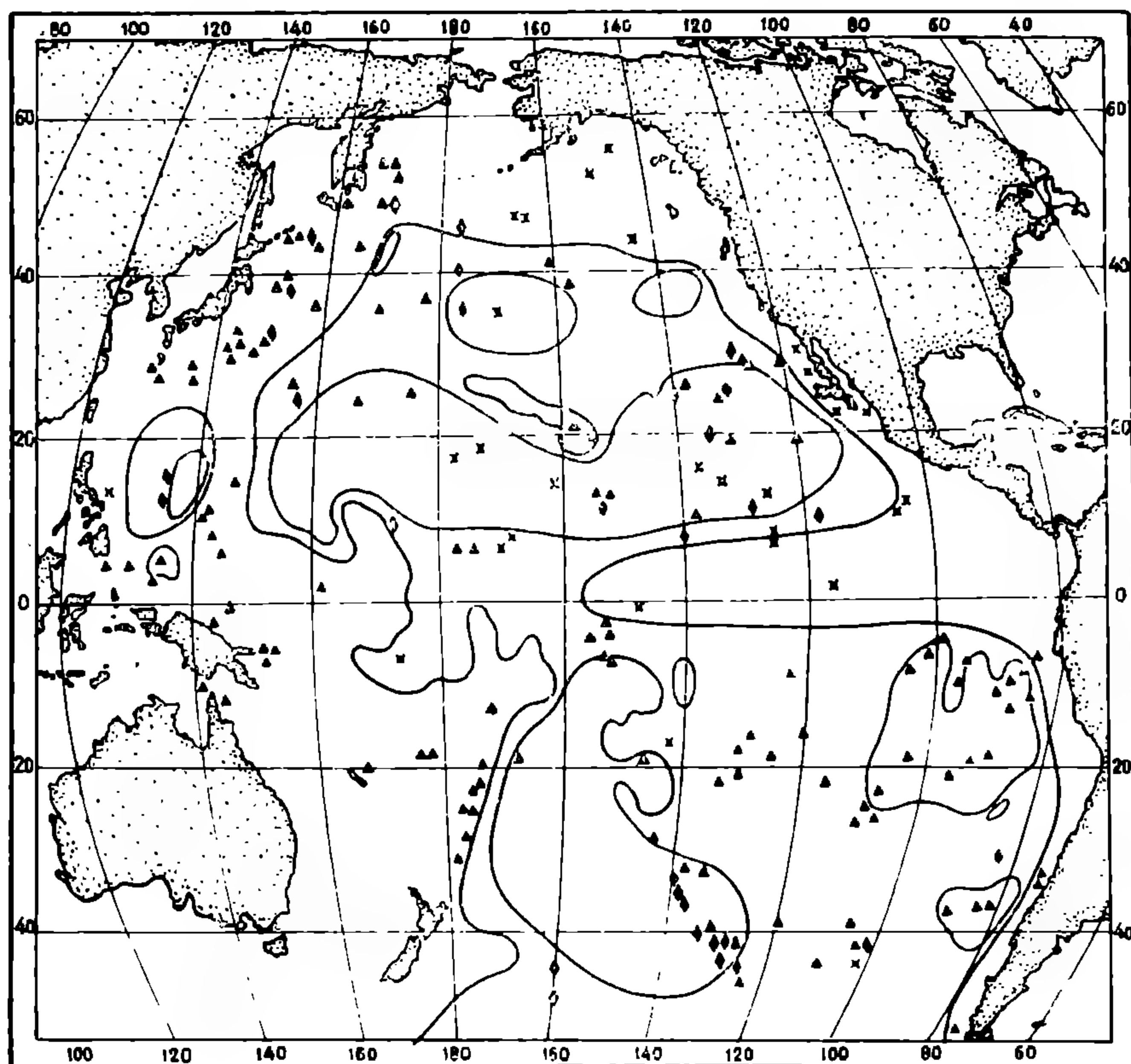
Что же касается зоны континентального шельфа, на котором сосредоточены основные нефтегазовые, биологические и минеральные богатства и ведется наиболее интенсивная хозяйственная деятельность человека, то в нем загрязнение нефтью достигнет уровня Каспийского моря, по-видимому, ранее 2000 года.

Опасны для морей и океанов не только морское бурение на нефть, но и сейсмические методы ее разведки. При взрывах гибнет икра, личинки, молодь и взрослая рыба. При каждом взрыве на Каспии гибнет, по данным Азербайджанского отделения ГосНИОРХа, 15 тыс. ц потенциального улова.

Сейсмические методы разведки нефти в море — бедствие для рыбного хозяйства. Их необходимо самым срочным образом заменить микробиологическими, геохимическими и радиометрическими методами.

Нефтяное загрязнение и сейсмические методы разведки — это большее зло, чем подрыв запасов рыбы вследствие чрезмерной интенсивности промысла. Подорванные запасы рыбы можно восстановить путем искусственного разведения, запуска молоди и регулирования лова. Загрязненные же нефтью районы обычно полностью выбывают из числа промысловых.

<sup>1</sup> «Природа», 1968, № 2, стр. 80.



Размещение железо-марганцевых конкреций на дне Тихого океана

Другая новая отрасль морского хозяйства — морская «горная промышленность» находится в стадии становления. Возможность создания горнорудной промышленности в океане впервые была рассмотрена в 1958 г., когда в США Институтом морских ресурсов при Калифорнийском университете было установлено, что стоимость многих металлов и минералов из морских руд на 25—50% ниже стоимости производства тех же металлов и минералов из руд суши. В дальнейшем опыт промышленных концернов США показал, что можно рентабельно, при современных затратах и ценах (1964 г.) эксплуатировать морские фосфаты, никель, кобальт и даже марганец. Показано, что содержание кобальта в железо-марганцевых конкрециях, покрывающих дно океана, соответствует, а в некоторых случаях даже превышает его содержание в средних по металлу рудах суши<sup>1</sup>.

Для США, импортирующих олово, никель, марганцевую руду, кобальт, платину, появилась перспектива получения собственного никеля, кобальта, марганца из моря. Заманчивы попытки получить из океана и другое минеральное сырье, потребность в котором, в связи с ростом производства только за последние 20 лет, значительно увеличилась.

Достоверные и вероятные запасы важнейших полезных ископаемых на суше, как показали наши расчеты, обеспечивают потребности человечества на 30—60 лет<sup>1</sup>. Правда, они продолжают увеличиваться за счет открытия новых месторождений, но вместе с тем растет и объем добычи полезных ископаемых. Рост добычи в ряде случаев даже опережает их прирост, поэтому обеспеченность человечества некоторыми разведанными полезными ископаемыми имеет тенденцию к уменьшению. Это относится и к США — самой богатой по минеральным ресурсам стране капиталистического мира, а уж тем более к другим странам, которые все, правда в разной степени, зависят от ввоза минерального сырья. Стремление освободиться от иностранной зависимости по минеральному сырью стимулирует поиски в новых районах земного шара, в частности в недрах дна и толще воды Мирового океана.

Привлекает не только эта сторона вопроса, но и преимущества разработки «морского» минерального сырья, при которой не требуется больших трудоемких и дорогостоящих вскрышных работ, взрывчатых веществ, сложного оборудования для добычи руды. Разведка залежей

<sup>1</sup> Г. Крутов. Месторождения кобальта. Госгеолтехиздат, 1959, стр. 7—8.

<sup>1</sup> В основу расчетов положены данные о запасах полезных ископаемых и их добыче, приведенные в книге «Минеральные ресурсы стран капиталистического мира», под ред. Н. А. Быхова, 1966, и других литературных источниках.



Тихий океан. Китобоец привел китов для сдачи на плавучую базу

будет производиться при помощи фотокамер. Не нужны будут ни штреки, ни шахтные стволы. Не потребуются изъятия из сельскохозяйственного фонда земельных угодий, а населенные пункты не будут помехой для горнорудной промышленности.

Американский исследователь Чепмен (Chapman, 1963) считает, что разработка залежей минерального сырья в океане начнется минимум через 10 лет, а вероятнее всего через 50 лет, т. е. при жизни нынешнего поколения людей.

В наше время уже ведется морская добыча алмазов. На заре развития этой отрасли США довели добычу алмазов из морских песков Юго-Западной Африки (1962—1964 гг.) до 287 тыс. каратов в год. Судя по темпам развития — 54 тыс. каратов в 1963 г. и 287 тыс. каратов в 1964 г. — и богатому содержанию алмазов в морских песках (5 каратов в тонне песка против 1 карата алмазов в тонне руды Африки)<sup>1</sup>, этот район в недалеком будущем займет видное место в алмазодобывающей промышленности мира. США ставит задачей увеличить суточную добычу алмазов из морских песков Африки до 2,5 тыс. каратов против 1 тыс. каратов в настоящее время.

Известно, что олово успешно добывается у берегов Индонезии и Таиланда, железная руда у Нью-Фаундленда, магнетитовые пески у берегов Японии, сера в Мексиканском заливе, цирконий у побережья Австралии и т. д. Но мы не располагаем необходимыми данными об их современной и перспективной добыче. В настоящее

время начата добыча золота из илов Красного моря. Из тонны донных осадков извлекается до 5 г золота.

Проблема извлечения золота из морской воды пока не решена. Но исследовательские работы в этом направлении ведутся. Величина запасов золота, растворенного в Мировом океане, оценивается в 8—10 млн т. Чтобы ясно представить себе эту величину, нужно только вспомнить, что за период с 1493 по 1965 гг. во всем мире добыто всего 66,3 тыс. т золота. Вместе с его разведанными запасами на суше это составит округленно 100 тыс. т, т. е. в 80—100 раз меньше, чем в воде Мирового океана.

Рост интереса к золоту в Мировом океане, разумеется, связан с дефицитом золота, добываемого на суше.

Добыча золота в мире растет. Только в капиталистических странах она составила: 1053 т в 1960 г. и 1269 т в 1965 г. — т. е. выросла на 20%. Но если сопоставить рост добычи золота и объем внешней торговли, в которой золото выполняет функции международного платежа<sup>1</sup>, то оказывается, что рост добычи золота резко отстает от развития международной торговли.

Запасы золота в месторождениях капиталистического мира, по оценке Всесоюзного геологического фонда СССР, на 1 января 1966 г. составляли примерно 35 тыс. т; это значит, что при современном уровне до-

<sup>1</sup> Эту функцию золото приобрело в некоторых странах Востока еще за 1500 лет до н. э. Недостаток золота в последние десятилетия привел к положению, которое известный американский финансист Ф. Махлуп называет «беспорядком в международных валютных расчетах». В поисках путей их оздоровления называется возвращение к золотому стандарту, существовавшему до первой мировой войны. Это потребует резкого увеличения количества золота для нужд внешней торговли мира.

<sup>1</sup> Около 98% добычи алмазов в капиталистических и развивающихся странах мира приходится на Африку. Конъюнктура мирового рынка на алмазы благоприятная: спрос на алмазы, особенно на ювелирные, превышает их предложение.



Японское море. На океанском сейнере «Зыряновск» выбирают трал с уловом

бычи они будут исчерпаны через 28 лет. С учетом прироста запасов за счет новых месторождений (50—60 т в год) — через 30—35 лет. Иными словами, запасы золота на суше, как и нефти, к 2000 г. будут исчерпаны.

Весьма перспективно как с технической, так и экономической точки зрения, извлечение из морской воды урана. Опыты, проведенные в Англии, показали, что стоимость 1 кг «морского» урана (металла) составляет 66 долларов, при его цене на рынках США — 40 долларов. Учитывая, что это только первые опыты, которые как и всегда связаны с повышенными затратами труда и средств, можно считать, что к 2000 г. технический прогресс сделает рентабельным извлечение урана из вод Мирового океана.

В настоящее время суша не испытывает недостатка в уране. Наоборот, добыча урана с середины 50-х годов XX в. так сильно возросла, что возник вопрос о пере-

производстве его, о закрытии малорентабельных разработок, например в Конго (Киншаса). За период 1958—1965 гг. закрыто 47 заводов по производству концентратов урана.

Технический прогресс открыл новые источники получения урана из сланцев, бурых углей, магнезитов, фосфоритов.

Но имея в виду, что ряд стран вовсе не имеет урана, а также высокую его стоимость на мировом рынке, быстрое развитие урановой промышленности, огромные запасы урана в Мировом океане, которые в тысячи раз больше его разведанных запасов на суше, извлечение урана из морской воды должно в перспективе получить более широкое практическое значение. Истощение богатых урановых месторождений на суше и связанный с этим переход к эксплуатации относительно бедных месторождений будет сопровождаться увеличением затрат на единицу добычи урана на суше, а технический прогресс в области химии моря — их снижением, что сблизит показатели стоимости урана суши и моря.

Правда, в той же Англии существуют и более пессимистические высказывания по этому поводу. В добыче урана в последние годы наблюдается конъюнктурный спад. В связи с этим производственные мощности недоиспользуются, цены на уран снижаются, разрабатываются только те месторождения, которые требуют минимальных затрат, не более 11—12 долларов, на 1 кг уранового концентрата. Но это, как считают деловые круги Запада, временное явление. В 1970—1980 гг. ожидается увеличение спроса на уран до 60 тыс. т в год, как следствие истощения ресурсов минерального топлива и постепенного перехода к замене его ядерным<sup>1</sup>, а также использования урана в черной металлургии.

Запасы молибдена на суше определены в 2,7 млн т, в том числе достоверные и вероятные 2,1 млн т (1965 г.). Почти две трети запасов и более трех четвертей добычи молибдена приходятся на долю США. Мировая добыча молибдена быстро увеличивается — 34 тыс. т в 1963 г. и 45 тыс. т (концентрата) в 1965 г.

Еще быстрее растет потребность в молибдене. Для США она определяется следующими цифрами: 27,8 тыс. т в 1970 г., 80,9 тыс. т в 1980 г. и 137,3 тыс. т в 2000 г. Всего до 2000 г. одним Соединенным Штатам потребуется молибдена 2,5 млн т, а вместе с экспортом — 3 млн т, т. е. больше, чем его разведано во всем капиталистическом мире. Запасы же молибдена в Мировом океане оцениваются в 800 млн т. Они достаточны для удов-

<sup>1</sup> В конце 1965 г. в странах капиталистического мира работало 39 атомных электростанций общей мощностью 5,8 млн кват, строилось 29 мощностью 8,8 млн кват, подписаны контракты на 11 мощностью в 3,6 млн кват, велись переговоры о 17 АЭС мощностью в 5,3 млн кват. В связи с этим в 1980 г. возможен дефицит уранового топлива. После удвоения мощности АЭС, что ожидается в недалеком будущем, потребность в уране соответственно возрастет.

летворения потребности всего мирового хозяйства на многие сотни лет.

Есть мнение, что морская «горная промышленность» в перспективе будет крупнее космической, с которой после вступления человечества в космическую эру связываются большие надежды. Для этого, помимо развития добычи уже относительно освоенных полезных ископаемых морского дна и его недр, необходимо вовлекать в эксплуатацию новые полезные ископаемые, например, титансодержащие пески у побережий Флориды, Индии, Цейлона, Австралии, моноцитовые пески шельфа Бразилии и Индии, содержащие торий и редкие земли (мировая потребность в моноците 3 млн т; при содержании 1—2% металла эксплуатация песков считается рентабельной), пески у Аляски с высоким содержанием железа и хрома и т. д.

США проявляют к исследованиям в этой области большой интерес. Свыше 60 компаний имеют океанографические отделы. Построено и проектируется более 30 судов для поиска полезных ископаемых на дне моря до глубины 600 м.

Минерально-сырьевая база Мирового океана — это огромный потенциал будущего общества. Она ждет, когда технический прогресс сделает возможным ее рентабельное использование. И этот момент относительно недалек.

В течение жизни следующего поколения, — пишет инженер Калифорнийского института Джон Мэро<sup>1</sup>, — человечество будет извлекать из океана не только кобальт, никель, но и молибден, ванадий, свинец, цинк, титан, алюминий, цирконий и др.

Когда извлечение металлов и минералов со дна морей и океанов будет освоено, проблема минерально-сырьевой базы окажется решенной на много лет вперед.

В перспективе возникнут и получают развитие и другие отрасли хозяйства, в частности, приливная и геотермическая энергетика, подводная агрономия, рыбофермы (аналогичные скотоводческим на суше), будет решена проблема опреснения морской воды.

Почти 60% населения мира испытывает недостаток в пресной воде. Есть мнение, что население на Земле в 6—6,5 млрд. человек в 2000 г. легче будет обеспечить продовольствием, чем доброкачественной пресной водой. В настоящее время в мире работает около 100 опреснительных установок общей производительностью 150 млн. л в сутки, что может удовлетворить потребность в пресной воде одного промышленного города с населением 350 тыс. человек.

Общий валовой доход человечества от Мирового океана, от эксплуатации его ресурсов и морских перевозок, по небольшим данным составлял в 1965 г. округленно

50 млрд руб. (его объем к 2000 г. возрастет до 5—6 млрд т против 2 млрд т в 1965 г.). В 2000 г. этот доход увеличится до 125—130 млрд руб., т. е. в 2,5 раза. Таким образом, современное экономическое значение Мирового океана определяют «старые», исторически сложившиеся отрасли морской экономики — рыболовство и судоходство, на долю которых приходится около 90% общих доходов человечества от морей и океанов.

В перспективе 2000 г. «профиль» экономики Мирового океана по-прежнему будут определять «старые отрасли» его хозяйства. Вместе с тем значительно возрастет и роль новых — добыча нефти с морского шельфа, минерального сырья со дна океана и морей, извлечение редких и рассеянных элементов из морской воды и т. д.

Ф. Энгельс в письме к В. Боргиусу писал: «Если у общества появляется техническая потребность, то это продвигает науку вперед больше, чем десяток университетов»<sup>1</sup>. Такая потребность назрела. Задача научно-технической мысли — указать пути для ее эффективного удовлетворения за счет ресурсов Мирового океана.

УДК 551.46

<sup>1</sup> К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 39, 1966, стр. 174.

<sup>1</sup> Джон Мэро в 1965 г. опубликовал книгу «Минеральные ресурсы моря», пока единственную сводную работу по этому вопросу. Издательство «Прогресс» готовит ее издание на русском языке.

# Микроудобрения

Академик Я. В. Пейве



Академик Ян Вольдемарович Пейве — заведующий лабораторией биохимии микроэлементов Института физиологии растений им. К. А. Тимирязева Академии наук СССР. Автор многих научных работ и монографий в области агрохимии и биохимии микроэлементов.

В повышении урожайности многих сельскохозяйственных культур и увеличении продуктивности животноводства важную роль играют микроэлементы. Бор, медь, молибден, марганец, цинк, кобальт, йод и др. нужны живому организму в очень небольших количествах, но без них растения и животные не могут нормально и продуктивно развиваться. Это объясняется тем, что микроэлементы входят в состав ферментов, витаминов, гормонов и других физиологически активных соединений, играющих исключительно важную роль в живых организмах. Поэтому учение о микроэлементах — необходимая составная часть современной агрохимии и физиологии растений.

Наряду с увеличением производства азотных, фосфорных и калийных удобрений и широким использованием органических удобрений и извести необходимо значительно расширить производство и применение микроудобрений, содержащих в своем составе различные микроэлементы. Научно-исследовательскими учреждениями уже получены ценные данные по изучению эффективности, форм, доз и способов применения микроудобрений в растениеводстве.

В колхозах и совхозах СССР микроудобрения находят себе применение на многих миллионах гектаров и дают существенные прибавки урожая различных культур. Однако мы используем еще далеко не все возможности применения микроудобрений в растениеводстве.

Рассмотрим важнейшие результаты изучения различных видов и форм микроудобрений и использования их в сельском хозяйстве.

## Борные удобрения

Физиологическая роль бора в растениях тесно связана с углеводным, белковым и нуклеиновым обменом в организме. Бор играет также важную роль в процессах оплодотворения растений. Он необходим для формирования жизнеспособной пыльцы, развития завязей и семян. Бор повышает устойчивость льна к бактериозу, а сахарной свеклы — к заболеванию гнилью сердечка. Под влиянием бора усиливается накопление сахара в корнях сахарной свеклы, повышается содержание волокон в стеблях льна и конопли, витаминов — в плодах и овощах.

Эффективность бора. Уже в середине 30-х годов этого столетия были получены первые данные об эффективности использования бора в полевых условиях на различных почвах под лен, сахарную свеклу, клевер, люцерну и другие культуры.

В последние годы в условиях колхозов Латвийской ССР бордатолиновые удобрения повышали урожай сахарной свеклы в 30—60 ц/га, сахаристость корней возрастала на 0,4—0,6%. В ряде опытов, проведенных в СССР, сахаристость корней свеклы повышалась на 1,5%. На различных почвах Украинской ССР бор увеличивал сбор сахара на 2,7—6,2 ц/га. На Долгопрудной опытной станции НИУИФ бор в 1961 г. повысил урожай корней са-

харной свеклы с 279 до 343 ц/га. В колхозе им. Жданова Гродненской области БССР на дерново-подзолистой суглинистой почве в результате применения бора с 1 га было получено 7,9 ц сахара вместо 5,5 ц. Предпосевная обработка семян кукурузы борными удобрениями в опытах лаборатории микроэлементов Института биологии АН Латвийской ССР повышала урожай початков кукурузы на 13—20%. Бордатолизит при опудривании семян гороха и кормовых бобов перед посевом повышал урожай зерна этих культур на 2,5—3,5 ц/га.

В нечерноземной полосе СССР внесение бора повышало урожай семян клевера и люцерны в среднем на 0,5—1,0 ц/га. В производственных условиях колхозов Московской области подкормка семенников клевера бором повышала урожай на 40—50%. Особенно эффективны борные удобрения под семенники клевера и люцерны на известкованных почвах.

Высокая эффективность борных удобрений под лен установлена в производственных условиях ряда льноводческих областей СССР. Так, на дерново-глеевых и темноцветных заболоченных почвах Калининской области при внесении 3 кг буры на 1 га в дополнение к минеральным удобрениям урожай длинного волокна льна повышался на 1—2,5 ц, а семян на 1,5—2 ц с га; при этом улучшалось и качество льняного волокна. При внесении борных удобрений лен лучше противостоит заболеванию бактериозом.

В опытах НИУИФ, проведенных в колхозах Московской области, борные удобрения увеличивали урожай яблок в садах на 15—20% и урожай различных ягодных культур на 20—35%.

Широко применяются борные удобрения также для кормовых корнеплодов и овощных культур. В опытах Долгопрудной опытной станции на известкованном фоне при внесении бора были получены высокие прибавки урожая столовой свеклы и турнепса. В ряде колхозов Калининской области и Латвийской ССР урожай капусты повышался на 100—150 ц/га, а урожай моркови на 20—25%. Весьма эффективно также применение борных удобрений под семенники овощных культур. Например, в совхозе «Коломенский» Московской области в 1961 г. внесение бора увеличивало урожай семян капусты на 28% и урожай семян редьки на 31%.

По имеющимся данным борные удобрения эффективны и при внесении их под подсолнух, гречиху, хлопчатник, коноплю, масличные, зернобобовые и некоторые другие культуры. Используются они как при внесении в почву, так и для предпосевной обработки семян и внекорневой подкормки растений. В послевоенный период налажено регулярное заводское производство бормагниевого и бордатолитового микроудобрения.

**Формы и дозы борных удобрений.** В сельском хозяйстве могут быть использованы различные формы борных удобрений. Вот важнейшие из них.

**Бордатолитовые удобрения** содержат 9—14% борной кислоты ( $H_3BO_3$ ). Бордатолизит содержит

бор в воднорастворимой форме. По внешнему виду это рассыпчатый порошок светло-серого цвета. Бордатолиновое удобрение может быть использовано как при допосевном внесении в почву, так и для предпосевной обработки семян и внекорневой подкормки растений. При внесении в почву под сахарную свеклу, кормовые бобы, горох, кукурузу, клевер, люцерну, семенники овощных культур, хлопчатник, плодово-ягодные культуры, виноград рекомендуется брать следующие дозы: 60 кг/га в случае разбросного внесения и 15—20 кг/га при внесении в рядки. При внесении в почву под лен рекомендуется доза 30—35 кг/га. Для сухой предпосевной обработки семян доза бордатолитового удобрения составляет 0,5—1,0 кг на 1 ц семян. При использовании бордатолизита для внекорневой подкормки растений на гектар расходуется 10—12 кг этого удобрения и 300—500 л воды.

**Осажденный борат магния.** Это удобрение получается из отходов производства борной кислоты и содержит 1,5—1,8% элемента бора или 9—11% в пересчете на борную кислоту; по виду представляет собой рассыпчатый порошок светло-серого цвета. Бор в составе осажденного бората магния нерастворим в воде, но хорошо растворяется в двухпроцентной лимонной кислоте и хорошо усваивается корневой системой растений. В составе этого удобрения содержится также 25—35% магния в виде боратов и сульфатов, что повышает его питательную ценность в почвах, содержащих мало усвояемого для растений магния. Осажденный борат магния вносится в почву под различные сельскохозяйственные культуры в дозах 75 кг/га. Для внекорневой подкормки растений и предпосевной обработки семян он менее пригоден, чем бордатолиновое удобрение.

**Борный суперфосфат** содержит около 0,1—0,5% бора и действует одновременно как борное и фосфорное удобрение; получается при смешивании борного удобрения с суперфосфатом. Вносится в тех же дозах, как и обычный суперфосфат.

**Двойной борный суперфосфат** содержит 1—1,3% бора (6,0—7,8%  $H_3BO_3$ ) и 35,5—37,0% усвояемой фосфорной кислоты. Соотношение между бором и фосфором в этом удобрении при желании может быть изменено. Это весьма перспективное концентрированное удобрение, которое с успехом можно применять для сахарной свеклы, льна, бобовых и других культур.

**Бора** — белая кристаллическая соль — содержит 11% бора; хорошо растворима в воде и может быть использована главным образом для предпосевной обработки семян. Используются преимущественно слабые 0,01—0,05% растворы буры. На 1 ц семян при их смачивании расходуют 4—6 л такого раствора.

**Борная кислота** в чистом виде представляет собой белые кристаллы и содержит 17% бора. Используется в тех же дозах и концентрациях, как и бора, главным образом, для предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур.



Клубеньки на корнях сои. В клубеньках осуществляется симбиотическая фиксация молекулярного азота при участии ферментов, активность которых повышается под влиянием микроэлементов

Весьма перспективны в качестве удобрений различные борсодержащие нитрофоски. В сельском хозяйстве с успехом могут быть также использованы термобораты, борные фритты, а также тонко размолотые сырые борные руды (борацитовая и ашаритовая мука).

### Медные удобрения

Работами научно-исследовательских учреждений и производственной практикой доказана большая роль медных удобрений в повышении урожайности многих сельскохозяйственных культур на болотных и других почвах, в которых содержится недостаточно усвояемой для растений меди. Медь принимает участие в окислительно-восстановительных реакциях, протекающих в клетках растений, и входит в состав некоторых ферментов — оксидоредуктаз. К таким ферментам относятся полифенолоксидаза, аскорбиноксидаза, лакказа, пластоцианин и другие.

Медь повышает активность фотосинтеза и содержание в листьях хлорофилла, влияет на углеводный и азотный обмен в растениях. Недостаток меди в питании растений вызывает специфические заболевания (болотный хлороз листьев у злаков, суховершинность плодовых деревьев и др.).

**Эффективность меди.** Как показали опыты и практика колхозов, на многих болотных почвах без меди вообще невозможно получить высокие урожаи зерна: оно не образуется совсем или развивается маловесным и щуплым.

Внесение медьсодержащих пиритных огарков в дозах 4—5 ц/га полностью устраняет медную недостаточность у зерновых культур и дает высокие прибавки урожая порядка 4—5 ц/га и более.

На медные удобрения хорошо отзываются пшеница, ячмень, сахарная свекла, кукуруза, лен, рапс, конопля, подсолнечник, горох, бобы, луговые злаковые травы.

Менее эффективны медные удобрения для ржи, картофеля. На Минской опытной станции урожаи зерна яровой пшеницы на болотистой почве на фоне фосфорных и калийных удобрений без внесения меди составляли всего лишь 3,7 ц/га, в то время как при внесении медных удобрений на этом фоне урожай повысился до 15,2 ц/га. В колхозе «Залог пятилетки» яровая пшеница без меди совсем не давала урожая зерна, а при внесении меди урожай составил 17,7 ц/га.

В опытах, проведенных в условиях Латвийской ССР, весенняя подкормка лугов сульфатом меди повышала урожай сена на 11—35%.

При совместном внесении меди с молибденом эти прибавки доходили до 57%. На искусственных пастбищах подкормка сульфатом меди повышала их продуктивность на 20%.

**Формы и дозы медных удобрений.** В сельском хозяйстве используются как техническая сернокислая медь (медный купорос), так и различные медьсодержащие отходы промышленности.

**Сернокислая медь (медный купорос)**  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  — кристаллическая соль голубовато-синего цвета. Содержит меди в пересчете на элемент (Cu) 25,4%. Хорошо растворима в воде. Применяется для предпосевной обработки семян и внекорневой подкормки различных сельскохозяйственных культур. Эти приемы весьма эффективны и позволяют экономно расходовать такой пока еще дефицитный продукт, как сернокислая медь.

Для опрыскивания семян можно применять 0,1—0,02% растворы медного купороса в количестве 6—8 л на 1 ц семян. При внекорневой подкормке хорошие результаты дает применение 0,02—0,05% раствора медного купороса в количестве 200—400 л/га.

**Пиритные огарки** — это отходы химической промышленности, получающиеся при производстве серной кислоты. Содержат около 0,3—0,4% меди и небольшие количества других микроэлементов — марганца, кобальта, цинка. Особенно много в составе пиритных огарков железа, которое, однако, находится в нерастворимых формах и почти недоступно растениям. Что же касается



Клубеньки на корнях люпина. Микроэлементы — молибден, железо, медь и кобальт — повышают активность ферментов, катализирующих фиксацию молекулярного азота в клубеньках бобовых культур.

микроэлементов, входящих в состав пиритных огарков, то они в значительной своей части находятся в формах, усвояемых растениями. Пиритные огарки вносятся в почву в дозах 5—6 ц/га с заделкой орудиями предпосевной обработки почвы. Последствие пиритных огарков проявляется еще в течение 3—4 лет.

Медьсодержащие шлаки. На медеплавильных и цинкэлектродных заводах СССР имеются шлаки, которые, наряду с цинком, содержат 0,2—0,5% меди. Эти шлаки в тонко размолотом виде пригодны для внесения в почву в дозах 5—6 ц/га.

Низкопроцентные окисленные медные руды. В Казахской ССР находятся месторождения руд, содержащих 0,8—0,9% меди в усвояемой растениями форме. Они могут быть использованы при внесении в почву в дозах 2—3 ц на 1 га с заделкой орудиями предпосевной обработки почвы.

### Молибденовые удобрения

Широкое применение в качестве микроудобрения для бобовых и некоторых овощных культур нашел себе мо-

либден. Этот микроэлемент играет активную роль в азотном обмене растений и в процессах фиксации молекулярного азота свободно живущими в почве и симбиотическими микроорганизмами.

Молибден служит активной составной частью ферментов, принимающих участие в восстановлении нитратов в клетках до аммиака, который используется в процессах образования аминокислот и белков. Молибден, изменяя свою валентность, участвует в окислительно-восстановительных реакциях и является важным звеном в цепи переноса электронов от окисляемого субстрата к соответствующему акцептору. Под влиянием молибдена в бобовых растениях повышается содержание белков, аскорбиновой кислоты, каротина и хлорофилла.

Эффективность молибдена. Научными учреждениями накоплен богатый экспериментальный материал, характеризующий высокую эффективность молибдена в полевых условиях. В практике сельского хозяйства чаще всего используется предпосевная обработка семян солями молибдена и внекорневая подкормка растений.

Предпосевная обработка семян растворами солей молибдена или их опыливание сухими солями, из расчета 100 г молибдата аммония на гектар, повышает урожай зерна кормовых бобов на 3—4 ц/га, зерна гороха, кормового люпина и вики на 2,5—2,7 ц/га, клеверного сена на 7—8 ц/га и увеличивает в урожае содержание белка. В колхозах Московской области молибден повышал урожай клеверного сена на 11,8 ц/га. По данным 98 полевых опытов, проведенных в совхозах и колхозах Латвии, средняя прибавка урожая клеверного сена составила 7 ц/га.

Наибольшая эффективность молибденовых удобрений достигается на бедных по содержанию усвояемого молибдена дерново-подзолистых почвах и серых лесных суглинках. Применять молибден в качестве удобрения рекомендуется также для различных овощных культур, таких как капуста, салат, шпинат, томаты.

Формы и дозы молибденовых удобрений. Основные формы молибденовых микроудобрений — молибдат аммония и молибдат аммония-натрия.

Молибдат аммония. По внешнему виду это белая кристаллическая соль, которая содержит 50% Мо. Молибдат аммония хорошо растворим в воде и может быть использован как для предпосевной обработки семян, так и для внекорневой подкормки. Вносить с заделкой в почву молибдат аммония нецелесообразно, так как при таком способе требуются более высокие дозы, а коэффициент использования этого ценного удобрения снижается. Рекомендуемые нормы расхода молибдата аммония: для предпосевной обработки 1 ц семян гороха или вики — 20—25 г, кормовых бобов, люпина, хлопчатника — 30—50 г, клевера, люцерны — 75—90 г, овощных культур — 50—75 г.

Если предпосевная обработка семян осуществляется методом опрыскивания, то указанные количества удобрений растворяются для обработки 1 ц семян в 1,5—2 л воды. Для более быстрого получения раствора молибдат аммония сначала растворяют в небольшом количестве горячей воды, а затем раствор доливают холодной водой до требуемого объема. Мелкосемянные культуры, например, клевер, люцерна смачиваются 2—3 раза с небольшими перерывами. Смачивание семян растворами солей молибдена производится незадолго до посева. Для опыливания семян молибдат аммония должен быть высушен и тщательно измельчен с тем, чтобы полученный мелкий порошок хорошо прилипал к семенам. Операцию опудривания семян молибдатом аммония можно совмещать с их протравливанием. Дозировку молибдена при опудривании следует увеличивать в полтора-два раза против указанной выше.

Для внекорневой подкормки различных растений на 1 га требуется 75—150 г соли. Это количество молибдата аммония растворяется в 200—400 л воды при работе тракторными опрыскивателями и в 100 л — при авиаподкормке.

**Молибдат аммония-натрия.** Техническая соль молибдата аммония-натрия содержит около 30% молибдена (Мо) и представляет собой белый, с желтоватым оттенком порошок, хорошо растворимый в воде. Нормы этого микроудобрения устанавливаются такие же, как и для молибдата аммония.

**Молибденизированный гранулированный суперфосфат.** Содержит около 0,2% Мо (этот процент может изменяться в зависимости от добавления к суперфосфату молибдена). Вносится комбинированной сеялкой с семенами в рядки из расчета 0,5 ц/га.

**Отходы электроламповых заводов.** Содержат 5—6% молибдена. Получаются при нейтрализации аммиака кислотных растворов молибдена. По внешнему виду это сыпучий порошок бледно-розового цвета. Отходы содержат молибден в растворимой форме и пригодны как для предпосевной обработки семян, так и для внекорневой подкормки. Расчет для этого удобрения производится исходя из наличия в нем молибдена. Дозы из расчета на элемент устанавливаются такие же, как и для молибдата аммония.

**Различные молибденсодержащие отходы.** В качестве молибденсодержащих удобрений могут быть использованы также отходы молибденовых обогатительных фабрик (флотохвосты), шлаки заводов ферросплавов.

Последние перед внесением должны быть обязательно тонко размолоты.

Опыты с промышленными отходами показали, что при внесении в равных по молибдену количествах они по своей эффективности не уступают молибдату аммония.

## Марганцевые удобрения

Марганец входит в состав ряда ферментов, участвующих в процессах фотосинтеза и дыхания растений, а также восстановления нитратов, нитритов и гидроксиламина. Марганец влияет также на синтез аминокислот, полипептидов, белков и витаминов. При недостатке марганца листья сахарной свеклы буреют и отмирают, листовые черешки увядают и засыхают. На листьях злаков образуются хлороточные пятна.

**Эффективность марганца.** Марганцевые удобрения способствуют повышению урожайности сахарной свеклы, хлопчатника, пшеницы, кукурузы, овощных культур, картофеля и других сельскохозяйственных растений прежде всего на Украине, в Азербайджанской ССР, Грузинской ССР и республиках Средней Азии.

Марганцевые удобрения необходимы на слабощелочных черноземных, серых лесных почвах, солонцеватых и каштановых почвах, а также на других почвах, содержащих мало усвояемого растениями марганца. Перед внесением марганцевых удобрений необходимо точно проверить, есть ли легкоусвояемые растением формы естественного марганца в почве. Известно, что избыток легкоусвояемого марганца на некоторых очень кислых подзолистых почвах может оказать вредное действие на развитие растений. Однако после известкования дерново-подзолистых почв потребность в марганцевых удобрениях возрастает.

Марганцевый шлам при внесении в почву повышает урожай сахарной свеклы на 20—30 ц/га. По данным П. А. Власюка и других, внекорневая подкормка сахарной свеклы 0,05% растворами сернокислого марганца повышала урожай корней сахарной свеклы в условиях Украинской ССР на 17—98 ц/га. Хорошие результаты дает также применение марганцевого суперфосфата. По данным массовых опытов в колхозах Украинской ССР марганцевый суперфосфат по сравнению с обычным суперфосфатом повышал урожай корней сахарной свеклы на 19 ц/га и сахаристость на 0,2%. В результате урожай сахара возрастал на 3,8 ц/га. Урожай зерновых и масличных культур увеличивался на 1,1 ц/га. В колхозе им. Димитрова Азербайджанской ССР марганцевые удобрения повысили урожай хлопка-сырца на 2,0—3,1 ц/га.

Повышение урожая зерна кукурузы от внесения марганца в составе гранулированного суперфосфата составлял на выщелоченных и оподзоленных черноземах УССР 3,3 ц/га. Марганец также повышал урожай пшеницы, картофеля, люпина и других культур.

**Формы и дозы марганцевых удобрений.** В качестве марганцевых удобрений под различные культуры эффективны сернокислый марганец, марганцированный гранулированный суперфосфат и отходы, получающиеся при переработке марганцевых руд. Перспективно использование сульфата марганца для изготовления комплексных марганецсодержащих удобрений.

**Марганцевый шлак.** Этот отход марганцеворудной промышленности содержит 10—17% Mn, 0,5—0,8%  $P_2O_5$ , 17—20% Ca и Mg, 25—28%  $SiO_2$ , 8—10%  $Fe_2O_3$  и  $Al_2O_3$ . Представляет собой мелкий черный порошок. Марганец в этом удобрении содержится в относительно труднодоступной для растений форме. Средние дозы внесения в почву 0,5—2,0 ц/га.

**Марганизированный гранулированный суперфосфат.** Содержит 1,4—1,9% марганца и 18,7—19,2% усвояемого  $P_2O_5$ . Изготавливается в Украинской ССР по предложению П. А. Власюка. Широко применяется под сахарную свеклу, кукурузу и зерновые культуры. Средние нормы внесения 1,5—2,0 ц/га.

**Марганизированная нитрофоска.** Этот вид нитрофоски, кроме азота, фосфора и калия, содержит также в своем составе марганец (около 0,9% Mn), который хорошо усваивается растениями.

В проведенных опытах марганизированная нитрофоска значительно повышала урожай корней сахарной свеклы и зерна кукурузы, а также и качество урожая (сахаристость корней сахарной свеклы и содержание белка в зерне кукурузы). Норма внесения под сахарную свеклу в рядки 1,0—1,5 ц/га.

**Сернокислый марганец.** Сухая безводная соль, содержит 32,5% Mn, хорошо растворим в воде и применяется для предпосевной обработки семян и внекорневой подкормки растений (0,1—0,05% растворами этой соли). На 1 ц семян расходуется 6—8 л такого раствора. Для внекорневой подкормки берут 200—400 л раствора на гектар.

## Цинковые удобрения

Цинк играет важную биохимическую роль в организме растений и животных. Известен ряд ферментов и ферментных систем, в активации которых он принимает участие. Недостаток цинка в питании приводит к серьезным нарушениям физиологических функций в растениях. Особенно чувствительны к его недостатку в почве яблони, груши, цитрусовые и другие культуры. Исследованиями последних лет также установлено, что цинк может быть с успехом применен для повышения урожайности клевера, овощных, зерновых и других культур.

Эффективность цинковых удобрений зависит от содержания усвояемого растениями цинка в почве. Чаще всего цинковые удобрения дают хорошую эффективность на карбонатных и легких по механическому составу почвах. Внекорневая подкормка кукурузы 0,01% растворами сернокислого цинка, а также предпосевное опыливание семян этой культуры тонко размолотыми цинксодержащими отходами промышленности (цинковые полимикродобрыения — ПМУ) повышает урожай зеленой массы и початков кукурузы на 12—17%.

В опытах, проведенных в Украинской и Молдав-

ской ССР, цинковые удобрения повышали урожай винограда на 12—18%, а сахаристость ягод на 0,8%.

**Формы и дозы цинковых микродобрыений.** Сернокислый цинк. Безводный сернокислый цинк содержит 45,5% Zn. Водные кристаллы  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  содержат около 24—25% Zn. Это растворимая в воде белая кристаллическая соль. Для внекорневой подкормки применяют 0,01—0,02% раствора сернокислого цинка в количестве 200—400 л на гектар, а для предпосевного смачивания семян 0,05—0,1% растворы. При этом на 1 центнер семян расходуют 6—8 литров раствора.

**Цинковые полимикродобрыения.** Получаются на Ростовском химическом заводе им. Октябрьской революции на основе шлаковых отходов. ПМУ-7 содержит 19,6% окиси цинка, 17,4% силикатного цинка, 21,1% окиси железа, 0,14% меди, 0,08% марганца, 0,01% бора, следы молибдена и других микроэлементов. Для предпосевной обработки одной тонны семян кукурузы расходуется 4 кг этого удобрения.

**Цинксодержащие молотые шлаки медеплавильных заводов.** Получают их на различных медеплавильных заводах Урала, Украины, Алтая и других районов СССР. Содержат 2—7% цинка и небольшие количества других микроэлементов. Изученные нами отходы Среднеуральского медеплавильного комбината содержали 6,76% цинка, 0,41% меди, 0,018% марганца, 0,001% кобальта, 0,005% молибдена и 33,28% железа.

Вносятся с заделкой в почву в дозах 0,5—1,5 ц/га. При тонком размоле могут быть использованы для предпосевного опыливания семян в дозах 200—400 г на 1 ц семян.

## Кобальтовые, йодные, ванадиевые и другие виды микродобрыений

Научно-исследовательскими учреждениями сейчас изучаются новые виды микродобрыений, содержащие кобальт, йод, ванадий, никель и некоторые другие микроэлементы. Физиологическая роль и биохимическая активность этих элементов в организме растений пока еще недостаточно изучены, но уже получены ценные результаты, свидетельствующие о том, что кобальт способствует усвоению молекулярного азота в клубеньках бобовых культур и что предпосевная обработка семян этих культур 0,01% растворами солей кобальта способствует повышению урожайности кормовых бобов, люпина и других культур. Установлено также благотворное влияние на бобовые культуры ванадия. В ряде опытов показано положительное действие на урожай и качество сельскохозяйственных культур микродобрыений, содержащих йод, никель и некоторые другие химические элементы. Однако данных, которые могли бы обосновать широкое внедрение этих удобрений в практику растениеводства, пока еще недостаточ-

но. В то же время необходимо отметить, что кобальт и йод находят себе широкое применение в животноводстве.

### Микроэлементы и агрохимические исследования

Изучение и внедрение микроудобрений в практику сельского хозяйства должно сопровождаться детальными почвенно-агрохимическими исследованиями, что позволит более обоснованно дифференцировать их применение в различных почвенно-климатических условиях СССР.

В нескольких научно-исследовательских учреждениях нашей страны проводятся довольно обширные работы по картированию микроэлементов и изучению основных закономерностей распределения и динамики их в почвах СССР.

Так, сотрудниками Лаборатории биохимии почв и микроэлементов Института биологии АН Латвийской ССР составлены карты содержания кобальта, меди, цинка, бора, марганца и йода в почвах Латвийской ССР. На основании этих карт районируется применение микроэлементов в сельском хозяйстве республики. При этом карты микроэлементов тесно увязываются с почвенными картами. Работа по картированию содержания микроэлементов в почвах Украинской ССР проведена под руководством акад. П. А. Власюка.

Почвенным институтом им. В. В. Докучаева проведено изучение содержания микроэлементов в почвах Московской, Читинской, Ярославской и других областей РСФСР. Работы по картированию микроэлементов проводятся также в Грузинской, Азербайджанской, Армянской и Эстонской союзных республиках, Ростовской области и Ставропольском крае РСФСР и в других республиках и областях.

Крупномасштабное картирование почв в ряде колхозов и совхозов сопровождается анализом почв на содержание усвояемых форм макро- и микроэлементов. Уточняется, насколько почвы обеспечены подвижными микроэлементами применительно к почвенно-климатическим условиям и биологическим особенностям возделываемых культур. Наибольшая эффективность микроудобрений достигается на почвах, недостаточно обеспеченных усвояемыми формами тех или иных микроэлементов. На богатых микроэлементами почвах нет необходимости вносить удобрения, содержащие эти элементы. В то же время необходимо более детально изучать методы анализа почв и растений на содержание микроэлементов. В целях дифференцированной диагностики потребности растений в макро- и микроэлементах необходимо комбинированное исследование почв и растений.

Весьма перспективно также изучение биохимии и физиологии микроэлементов. Научный совет по микро-

элементам при АН СССР намечает на ближайший период усилить научные исследования в следующих направлениях: изучение роли микроэлементов в повышении активности ферментов и ферментных систем у живых организмов; изучение новых методов быстрого определения микроэлементов в почвах, растениях и других биологических объектах; установление методов дифференциации применения микроэлементов в растениеводстве и животноводстве с учетом содержания микроэлементов в почвах и растениях и физиологических особенностей различных видов растений и животных; изучение новых видов и форм удобрений, содержащих микроэлементы.

УДК 631.82

# Электро- наркоз: факты, гипотезы, перспек- тивы

К. А. Иванов-Муромский  
Кандидат биологических наук



Кирилл Александрович Иванов-Муромский — заведующий лабораторией нейробионики Института кибернетики АН УССР (Киев), автор более 70 научных работ и изобретений. Большинство из них посвящено проблеме управления основными нервными процессами в центральной нервной системе человека и животных с помощью физических факторов. Эти исследования обобщены в монографии «Электрический наркоз и электросон человека и животных» («Наукова думка», Киев, 1966). Ряд публикаций последних лет посвящен вопросам моделирования психических функций, главным образом памяти человека и эмоций.

## Проблема наркоза

Проблема электрического наркоза — проблема сложная и многогранная как в теоретическом, так и в практическом аспектах. Прежде всего, пока еще нет удовлетворительной гипотезы о механизме электронаркоза (как, впрочем, нет и общепринятой теории фармакологического наркоза и естественного сна). С другой стороны, явления, вызываемые при прохождении электрического тока через центральную нервную систему человека и животных, могут быть широко использованы для практических целей в экспериментальной биологии и клинической медицине, в первую очередь, для решения задач анестезиологии.

Современная анестезиология давно уже переросла рамки практики борьбы с болью: теперь это наука об управлении жизненными функциями до, во время и после операции. Успехи ее поистине велики. Однако, почему же каждый год появляются многочисленные сообщения о создании новых наркотических средств, новых методик наркотизирования? Как говорится, от добра добра не ищут...

Очевидно, эти неустанные поиски свидетельствуют прежде всего о стремлении найти такой метод наркоза, при котором было бы сведено к минимуму токсическое действие наркотика, устранены неприятные, а иногда и тяжелые посленаркозные состояния и, наконец, предотвращена гибель больного от наркоза. Несмотря на усилия большой армии ученых, еще не удалось получить вещество, которое при малой токсичности обладало бы достаточной наркотической силой, сравнительно узким кругом противопоказаний, хорошей управляемостью, прекращало бы свое действие в любой желаемый момент. Существенны и такие факты, как дешевизна, взрывобезопасность, удобство транспортировки, простота в использовании и т. д.

Несмотря на большие достижения анестезиологии, нельзя сбрасывать со счета множество малозаметных или трудно поддающихся учету факторов, которые могут порой привести к неприятным осложнениям. Элемент личного искусства до сих пор играет значительную роль в анестезиологии. Когда видного английского анестезиолога Р. Макинтоша спросили, умирают ли в его стране люди от наркоза и кто повинен в их смерти, он ответил: «Если человек, опущенный головой в воду, умрет, кто будет в этом виноват? Очевидно, не вода, а тот, кто держит человека под водой». Действительно, по зарубежным данным, эфир в руках студента в 3,5 раза опаснее, чем в руках врача.

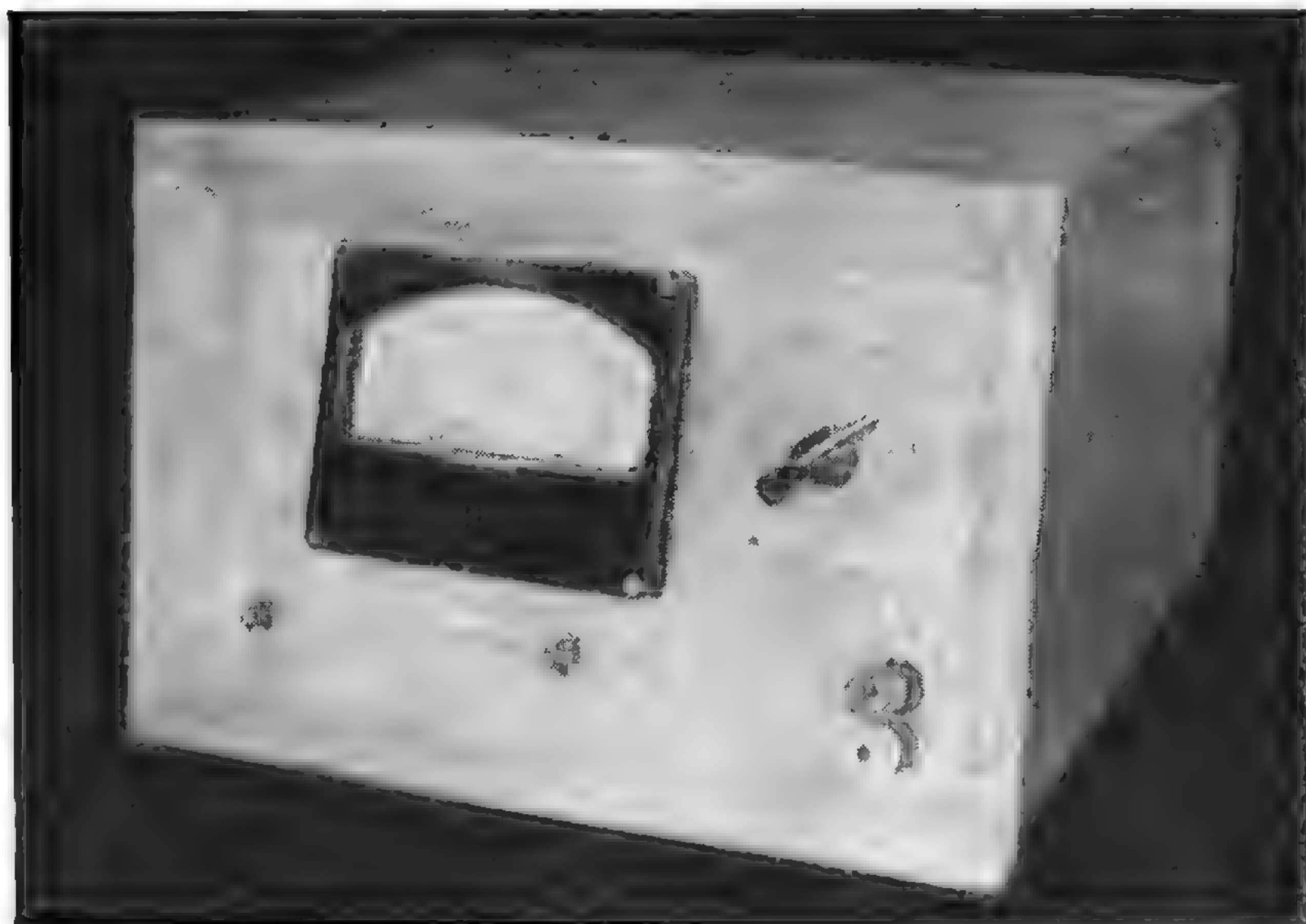
С трибуны хирургических съездов звучат полные тревоги слова о том, что применяемые для обезболивания и обеспечения безопасности операций такие методы, как фармакологическая гипбернация<sup>1</sup>, потенцированный наркоз, управляемая гипотензия, гипотермия и т. д. часто тают в себе опасности более тяжелые, чем сама операция. Недаром, следуя известному французскому хирургу Р. Леришу, местные и общие изменения в организме, вызванные оперативным вмешательством и обезболиванием, называют «послеоперационной болезнью». Вот почему во многих странах так упорно работают, чтобы найти новые наркотизирующие вещества, поднять на высший уровень технику наркоза, обезопасить наркоз.

Но дело не только в нуждах сегодняшней медицинской практики. Речь идет о создании эффективных методов обезболивания в случае массового поражения людей. Это — отрасль так называемой экстренной анестезиологии. Необходимость ее развития диктуется особенностями прогресса современной техники и характером ведения войн в нашу эпоху.

Экстренная анестезиология сразу же столкнулась с тысячей вопросов: какой метод наркоза применять, какую аппаратуру использовать в условиях, если на медицинские пункты хлынет поток раненых и обожженных людей?

<sup>1</sup> От англ. hibernation — зимняя спячка.

Внешний вид аппарата «Электронаркоз», разработанного в Институте кибернетики АН УССР. Этот аппарат прост в обращении, надежен, прочен, портативен



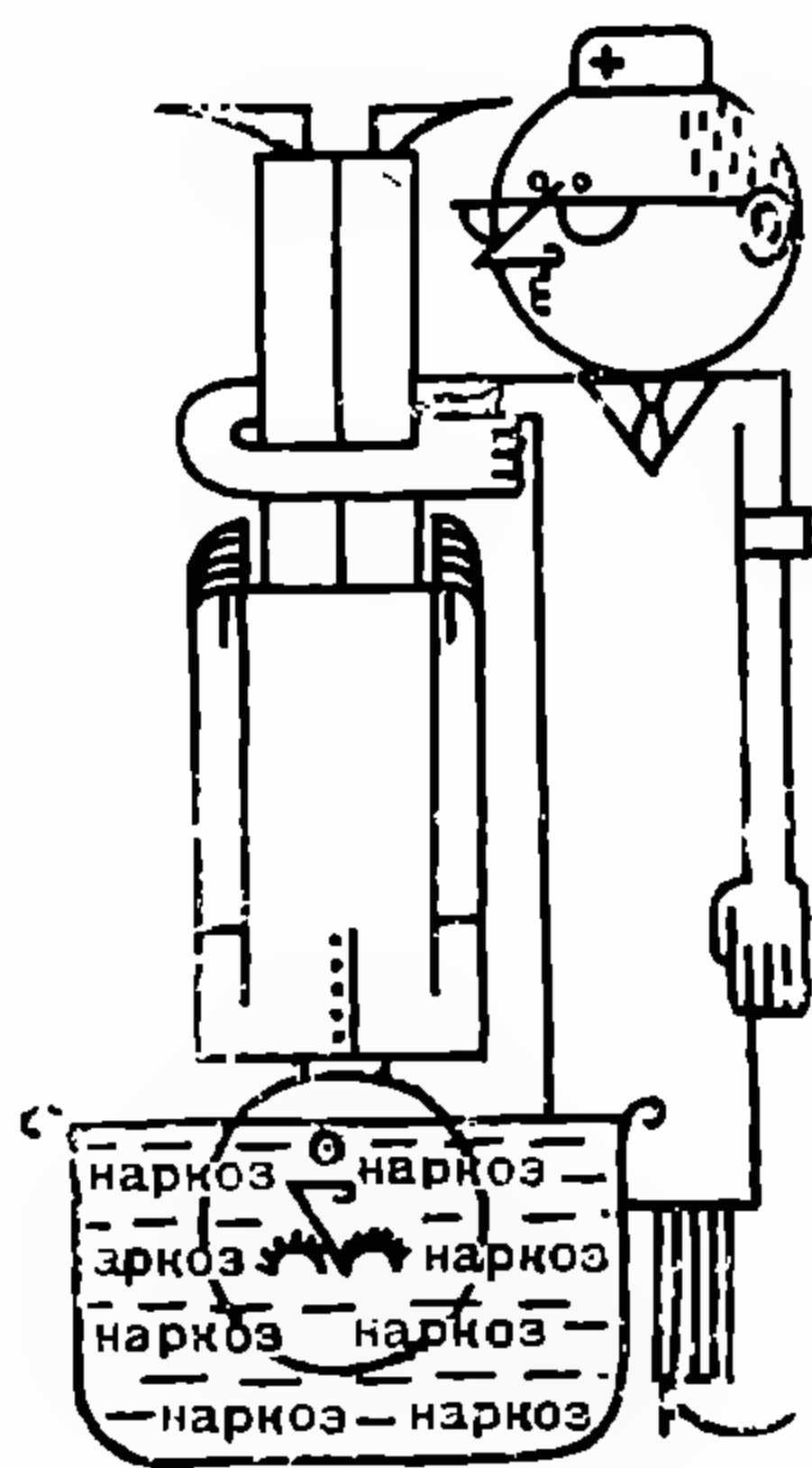
По подсчетам зарубежных специалистов, в результате взрыва в большом городе одной водородной бомбы, эквивалентного взрыву 10 млн. т тротила, на каждый медицинский пост, расположенный на периферии пораженного участка, ежедневно может поступить до 1200 раненых. Если даже на посту будет 10 хирургических бригад, то каждого раненого нужно будет усыпить и пробудить не позже, чем через 10 мин. Ясно, что при таких условиях метод наркоза должен быть исключительно прост, надежен, дешев, безопасен, аппаратура малогабаритна, а сам наркотик способен к долгому хранению.

Местная анестезия едва ли применима: после бомбардировки Нагасаки и Хиросимы три четверти раненых было с ожогами, а при обожженных тканях новокаин использовать нельзя. К тому же, как доказано экспериментами на животных, достичь у облученных организмов местной анестезии практически невозможно.

Внутривенный наркоз барбитуратами (из-за их токсичности) опасен при шоке. После налета японских самолетов на Пирл-Харбор в 1941 г. американские врачи применяли к раненым, находившимся в состоянии шока, барбитуровый наркоз. Результат был печален: начались массовые смерти. По разным причинам в подобной ситуации не могут быть также использованы многие газообразные и жидкие наркотики. Вот почему возник вопрос о новом типе наркоза — электронаркозе. Ведь аппарат для электрического наркоза прост в обращении, включить его можно в любой момент. Выполненный на полупроводниках и питаемый от батарей, он надежен, прочен, портативен.

Но вся проблема электрического наркоза не исчерпывается только борьбой с болью. Кибернетика позволяет нам посмотреть на вещи шире и глубже. С ее точки зрения организм представляется как сложная многоуровневая саморегулирующаяся система, обеспечивающая как гомеостазис — постоянство внутренней среды, так и тонкое приспособление к внешним факторам. Именно поэтому, направленно влияя на определенный «этаж» нервной или эндокринной систем, можно управлять реактивностью организма в целом.

Сейчас специалисты все больше склоняются к мнению, что электромагнитные поля и электрические токи являются основным переносчиком информации в организме, с их помощью в нем осуществляются процессы регуляции и саморегуляции. Поэтому, если бы мы смогли воздействовать на нерв-



ную систему или органы животного и человека сигналами, близкими по параметрам к естественным электрическим, то это был бы наиболее оптимальный, гибкий метод управления системами живых организмов.

Вот почему внимание ученых все больше приковывает метод электрического наркоза. В 1966 г. состоялись Международный симпозиум в Австрии, на котором было создано Международное общество по разработке вопросов электроанестезии и электросна, Всесоюзный симпозиум в Москве, Национальная конференция в США. Затем прошла очередная конференция в Америке. В Граце (Австрия) намечено построить специальный институт электросна. Вопросы электросна и электронаркоза вызвали значительный интерес участников симпозиума по проблеме сна в условиях космического полета, проходившего в начале этого года в Москве.

Итак, на повестке дня электрический наркоз. Что же мешает ему сделаться «королем наркоза», какие трудности лежат на пути управления мозгом с помощью электрических факторов? На первый взгляд победа близка — известны, например, эффективные опыты д-ра Хосе Дельгадо<sup>1</sup>, вызывающего определенные поведенческие реакции и эмоции у животных и человека путем раздражения слабым электрическим током некоторых структур головного мозга; клинические эксперименты канадского ученого В. Пенфильда, добивавшегося электрическим раздражением височных долей мозга (при нейрохирургических операциях) появления у людей воспоминаний о давно минувших событиях.

Но все дело в том, что в этих опытах электроды касались непосредственно определенных участков обнаженного мозга или проводники были введены в глубь мозга. Совсем другая картина получается, когда электрический сигнал должен «пробиваться» к мозгу через череп и его покровы. Тут-то исследователя и ждут подводные камни.

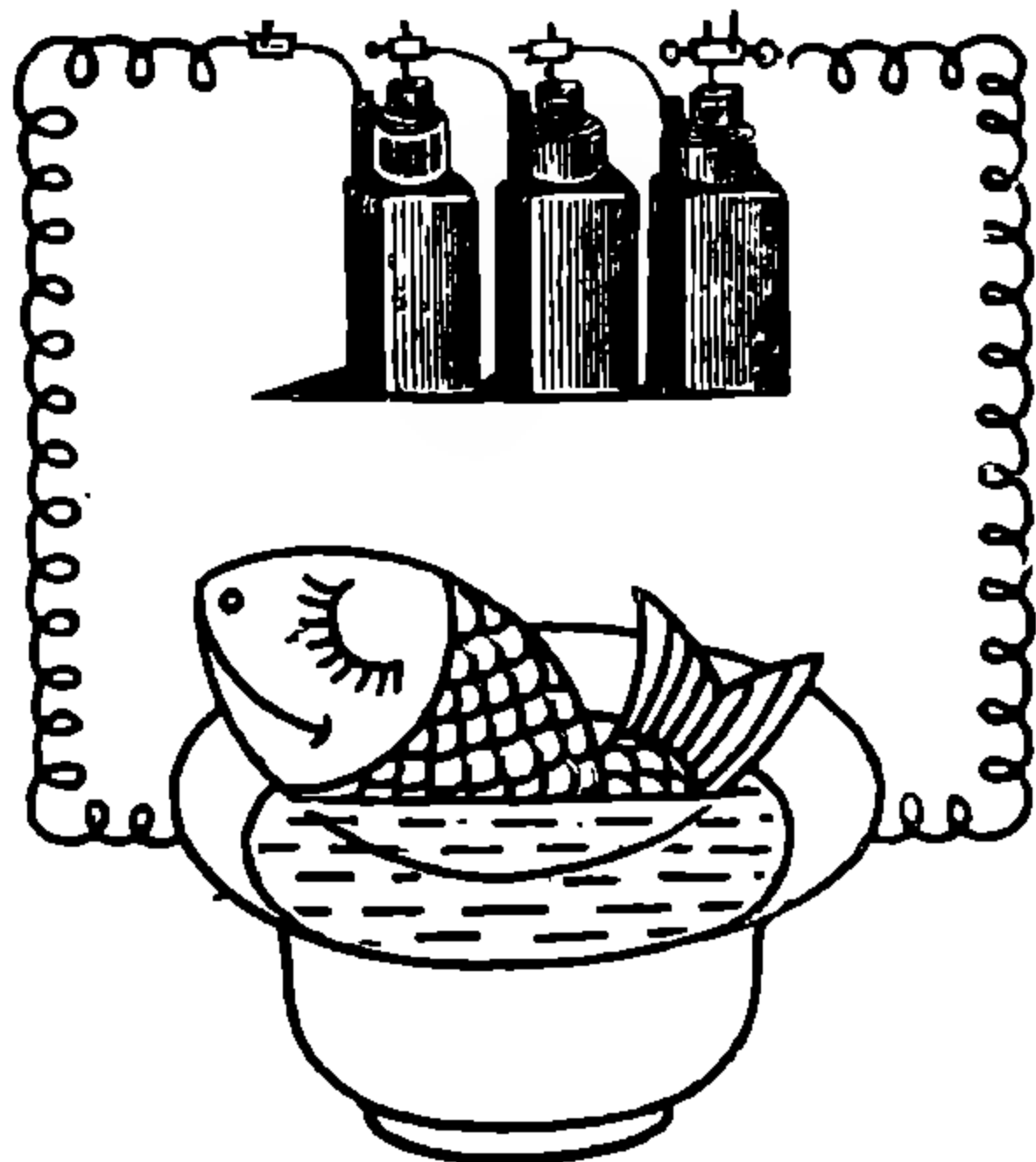
### Немного истории

История электронаркоза — тернистый путь исканий, проб и ошибок. Недавно, в недавнем обзоре исследований американских ученых звучат горькие слова: электронаркоз остается методом «очень заманчивым, но обманчиво ускользающим из рук».

Электрический наркоз был открыт более 160 лет назад. В 1803 г. замечательный русский физик В. В. Петров опубликовал книгу с очень длинным (как это было принято в ту пору) названием: «Известия о Гальвани-Вольтовских опытах, которые производил профессор физики Василий Петров посредством огромной наипаче батареи, состоящей иногда из 4200 медных и цинковых кружков и находящейся при Санкт-Петербургской Медико-Хирургической Академии». В этой книге, в частности, описывалось действие тока на рыб, помещенных в фаянсовое блюдо с водой. При пропускании тока рыбы замирали, перевертываясь вверх брюшком. Так было открыто явление, которое впоследствии получило название гальванонаркоз — торможение функций организма под воздействием постоянного тока.

С тех пор прошло немало времени, электрический наркоз уже использовался при операциях на людях, но первый опыт его применения не забыт. В печати промелькнули сообщения о том, что электрический ток применялся при ловле сардин. При охоте на китов с вертолетов используют электрические гарпуны. Даже в магазинах, где продают живую рыбу, пользуются электрическим сачком, «усыпляющим» ее.

Не нужно думать, что электронаркоз, подобно своим химическим собратьям, получил довольно быстро «зеленую улицу». Когда оказалось, что постоян-



<sup>1</sup> Х. Дельгадо. Выработка условных рефлексов у обезьян по радио. «Природа», 1968, № 2.



Гемодинамика при электронаркозе человека. Операция проводилась в 1962 г. в клинике профессора Н. М. Амосова

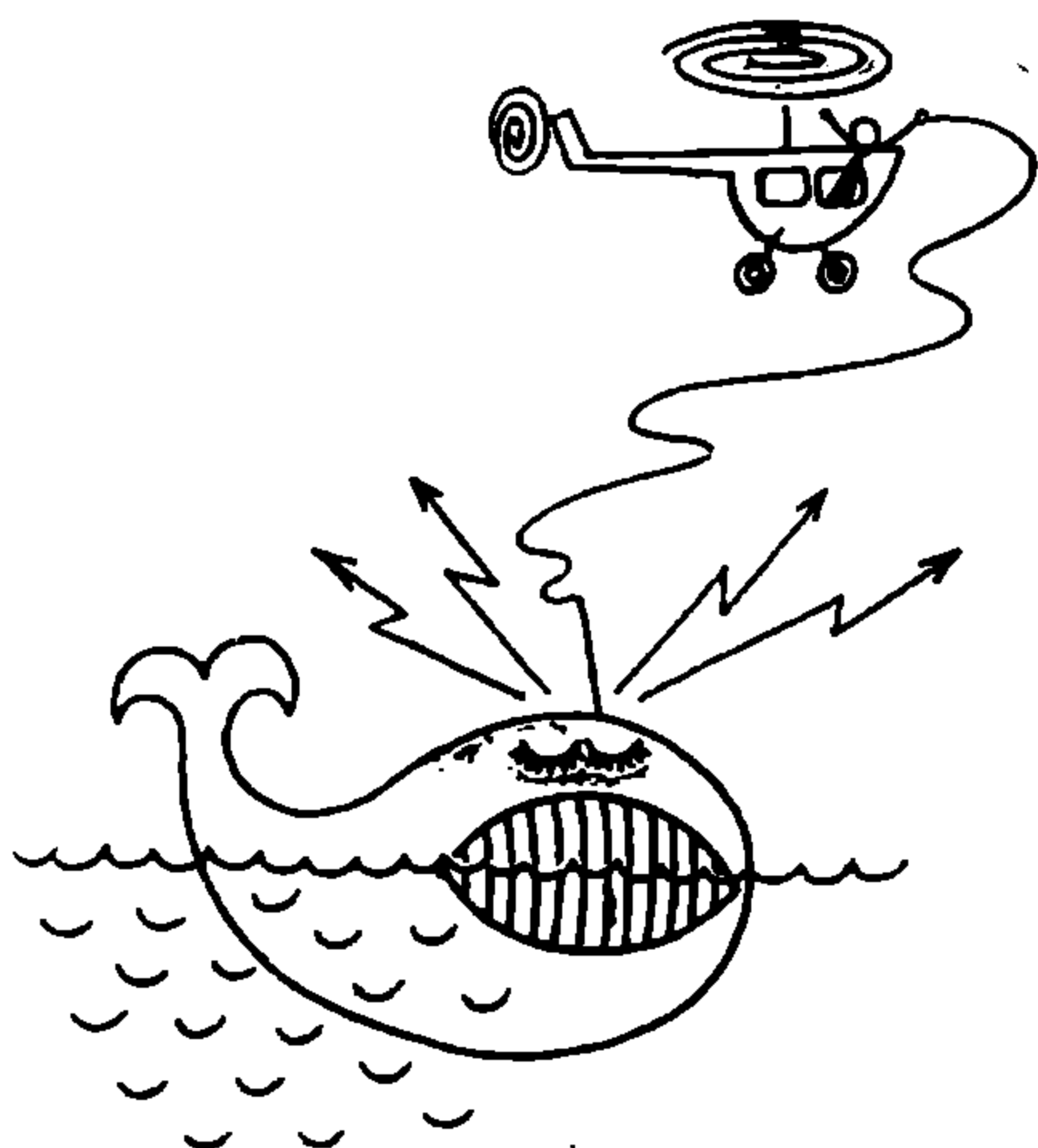
ным током вызвать наркоз у теплокровных животных и человека невозможно, начали исследовать токи других параметров.

К 1860 г. в США и Франции была подтверждена возможность обезболивания (анестезии) при экстракции зубов во время пропускания тока от индукционной катушки через десну или кожу. Знаменательно, что у истоков как фармакологического, так и электрического наркоза стояли зубные врачи — американцы В. Мортон, первый применивший в 1846 г. эфирный наркоз, и Г. Уэлс, использовавший за два года до этого закись азота. В 1890 г. известный французский ученый Д'Арсонваль вызвал у кролика общий наркоз при пропускании через его голову переменного тока.

Толчком к изучению электронаркоза послужили знаменитое открытие И. М. Сеченовым центрального торможения и работы Н. Е. Введенского по парабиозу<sup>1</sup>. В 1906 г. крупный русский физиолог В. Ю. Чаговец подробно проанализировал явление электрического наркоза с позиций учения Н. Е. Введенского.

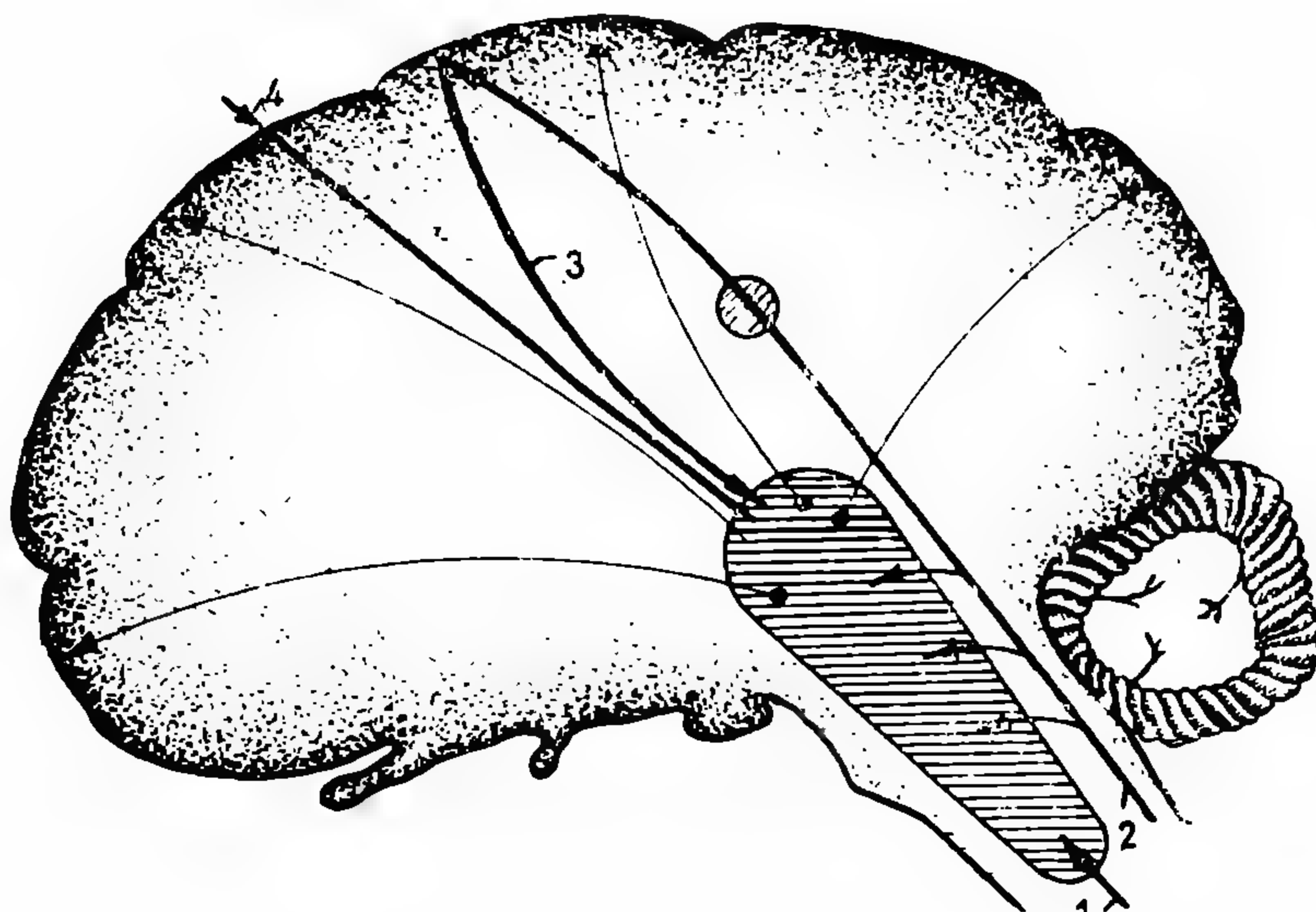
Вскоре после появления монографии Введенского «Возбуждение, торможение и наркоз» французский ученый С. Ледюк проверил на себе действие электрического наркоза. Разговор ассистентов Ледюк воспринимал «как во сне»; ни двигаться, ни говорить он не мог. Ледюк нашел, что наиболее эффективен импульсный ток, частотой 100 гц, с соотношением времени прохождения к паузе между импульсами прямоугольной формы 1:10. Этот ток и получил впоследствии название тока Ледюка. Один электрод накладывался на лоб, второй — на поясницу пациента.

Следующие попытки вызвать электронаркоз у человека относятся к 1907—1910 гг. С тех пор количество работ по электронаркозу стало нарастать подобно снежной лавине. С увеличением числа наблюдений возрастали и трудности. Каждый исследователь применял ток такой формы и частоты, которые были ему доступнее. Одни накладывали электроды на глаза и затылок больного, другие — на виски, третьи — на голову и крестец. Однако бур-



<sup>1</sup> Парабиоз — возбуждение, превращающееся в свою противоположность — торможение. Н. Е. Введенский считал, что парабиоз должен быть признан всеобщей реакцией возбудимых структур на самые разнообразные воздействия.

Схема взаимосвязей ретикулярной формации и коры больших полушарий. 1 — импульсы, поступающие в ретикулярную формацию по системе промежуточных нейронов спинного мозга; 2 — импульсы, направляющиеся в ретикулярную формацию по коллатералям (от лат. *collateralis* — боковой) длинных чувствительных путей; 3 — импульсы, воспринимаемые ретикулярной формацией после их отражения от структур коры мозга; 4 — импульсы, идущие в ретикулярную формацию из коры в связи с психической деятельностью



ное возбуждение и неприятные ощущения у больных от прохождения тока на месте приложения электродов заставили врачей скептически отнестись к возможности использования наркоза в клинике.

К 40-м годам усилиями советских исследователей Л. Л. Васильева, Г. С. Календарова, И. И. Яковлева, В. А. Петрова, В. А. Глазова и др. было доказано, что с помощью электрического тока можно получить общий наркоз (именно это оспаривали многие зарубежные ученые).

Уже тогда были известны многие положительные стороны электронаркоза: возможность регулировать его глубину и прекращать его действие в любой момент, отсутствие типичного для наркотиков ядовитого действия на ткани, ряда осложнений, наступающих после фармакологического наркоза (рвота, головная боль, угнетение дыхания и расстройство сердечно-сосудистой деятельности), меньшее кровотечение на месте разреза тканей. Очень подкупало в электронаркозе и то, что можно было в значительно меньшей степени, чем при наркозе фармакологическом, считаться с поражениями печени, легких, почек и других внутренних органов.

После второй мировой войны поиски наиболее оптимальной методики электронаркоза возобновились с большой настойчивостью. Началось применение электронаркоза в хирургии, но надежды на быстрый успех скоро сменились быстрым разочарованием. Ощущавшееся как боль раздражение на местах приложения электродов заставило применить в начале операции кратковременный фармакологический наркоз, операция же проходила непосредственно под электронаркозом. При этом удалось добиться хорошей стабильности физиологических данных, свидетельствующей о том, что достигается задача полного обезболивания даже при очень тяжелых операциях.

Однако исследователей подстерегали новые трудности. Оказалось, что хотя подавляющее большинство больных не чувствует боли, определенный процент из них теряет сознание неполностью. Так, один из пациентов, оперированный в клинике проф. Н. М. Амосова под электронаркозом, так и заявил нам: «Я как-будто сквозь сон слышал голоса хирургов, но боли не чувствовал». Невольно вспомнились произнесенные более 60 лет назад слова Ледюка о том, что экспериментальные трудности, связанные с субъективным состоянием подопытного, делают наши выводы лишь выражением нашего впечатления и нашего мнения. Приходится ждать, говорил он, когда



появятся более совершенные мнения и мы сможем получить более точную информацию о субъекте.

К сегодняшнему дню количество операций, сделанных под электронаркозом, дошло до трех сотен. Исследователи пытаются установить показания и противопоказания к применению нового метода, но и сейчас этот вид обезболивания только у порога клиники. В США даже свертывают клиническое испытание электронаркоза, считая, что это носит характер эксперимента на людях.

Преимущества электронаркоза ясны; очевидны и препятствия, лежащие на пути внедрения его в практику. Но как вести поиск, чтобы преодолеть их? Для этого нужно знать природу, механизм электронаркоза.

### Организм под током

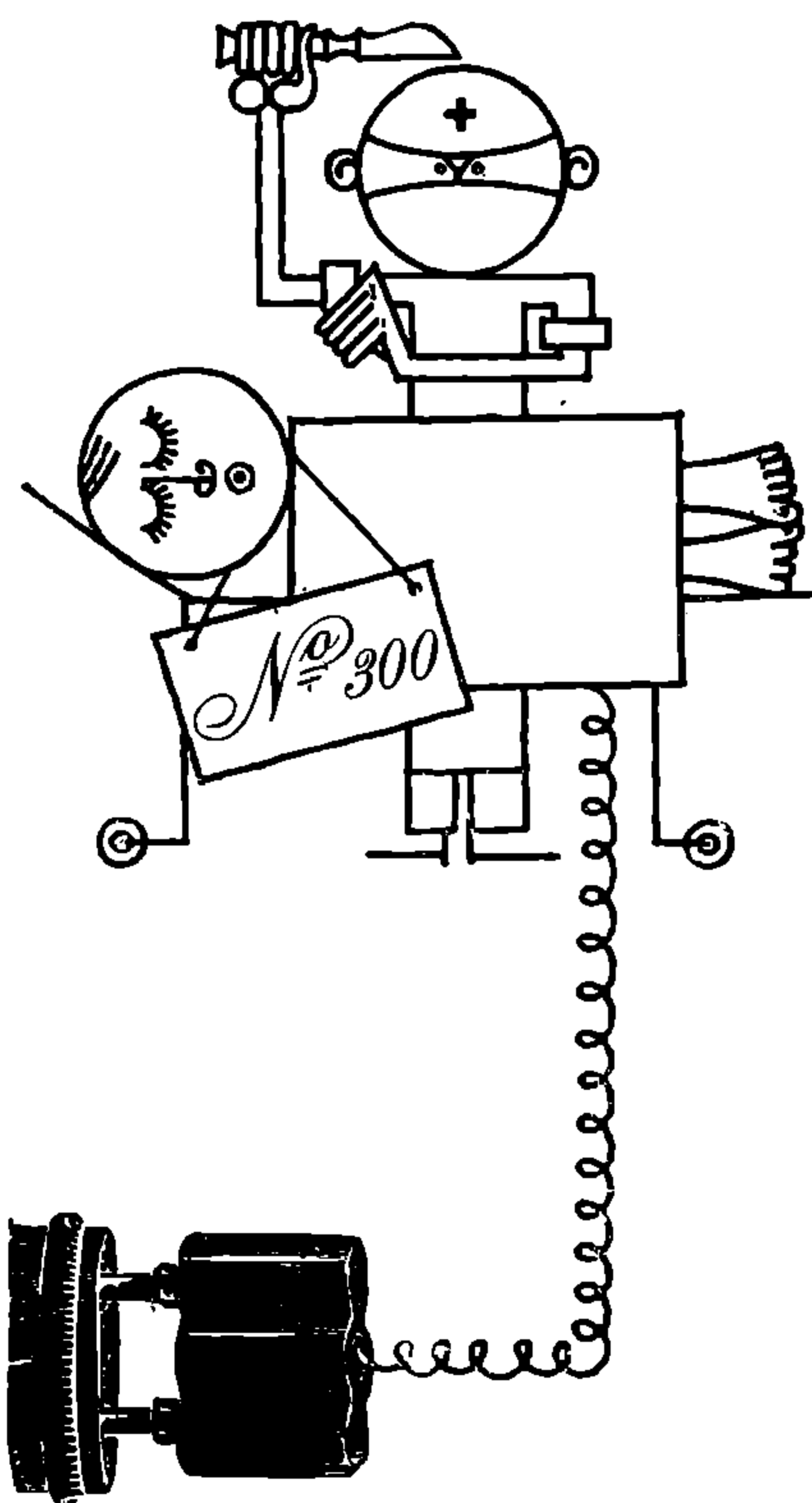
На протяжении многих лет мы отстаиваем перспективность рассмотрения явления наркоза, главным образом, на системном уровне, т. е. без анализа событий, происходящих на молекулярном уровне. Необходимо сосредоточить внимание на характере взаимодействия систем организма, и здесь, прежде всего, нужно думать о механизмах, обеспечивающих существование организма как целого. В первую очередь — это нервные механизмы регуляции жизненных функций. Именно они и определяют существование организма — выражаясь терминами кибернетики — как ультраустойчивой системы, т. е. удерживают его существенные переменные внутри физиологических границ, границ «нормы». На все попытки вывести переменные за эти границы организм отвечает относительно стандартной реакцией, направленной на ликвидацию последствий вмешательства фактора среды.

Как же осуществляется эта реакция в данном конкретном случае — при электрическом наркозе? Здесь надо обратиться к современным взглядам на функциональную структуру мозга как системы. Многие факты, полученные в последние годы, позволяют допустить, что кора головного мозга осуществляет саморегуляцию своей деятельности посредством подкорковых структур. Делается это двумя способами: кора контролирует идущий к ней от рецепторов поток импульсов путем воздействия на подкорку; состояние ее также зависит от воздействия активирующих и тормозящих подкорковых образований.

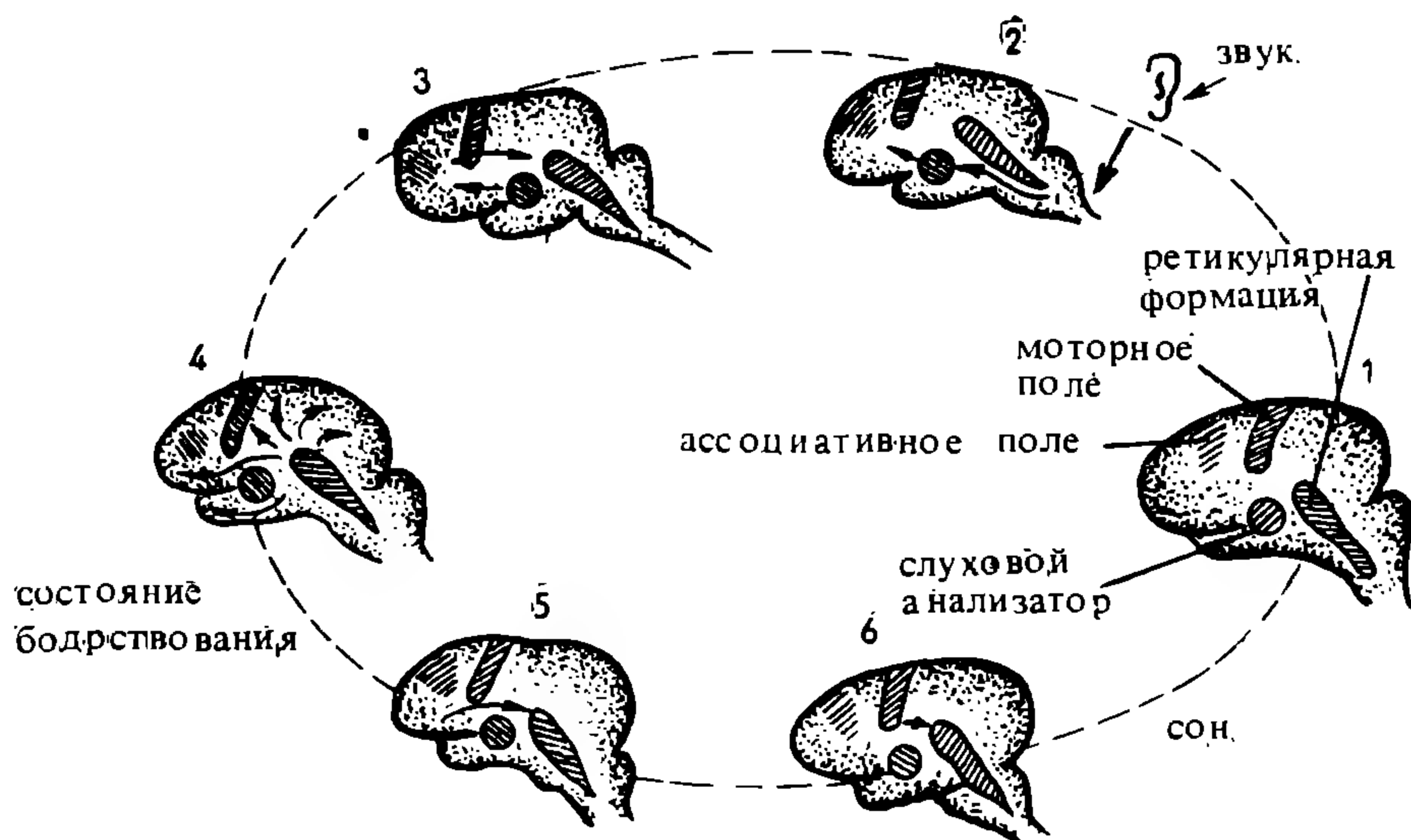
Это может наглядно показать простой эксперимент. Известно, что небольшое количество барбитуратов, введенных в одну из сонных артерий кошки, вызывает угнетение полушария, на стороне которого сделана инъекция: амплитуда электрического ответа, вызванного приходящим в это полушарие сигналом, уменьшена по сравнению с нормой. Но оказывается, что электрический ответ в противоположном полушарии увеличен. Весьма вероятно, что угнетение одного полушария ведет к ослаблению «сдерживающего» влияния коры на подкорку, в частности на ствол мозга. Деятельность его активирующих структур усиливается, что и проявляется на характере ответов незаторможенного полушария.

Функциональное единство корково-подкорковых аппаратов мозга, соединенных прямыми и обратными связями в «функциональное кольцо», общепризнано. Уже утихает «ретикулярная лихорадка», вызванная послевоенными работами американских и итальянских ученых. В свое время их эффектные опыты дали основание многим исследователям считать, что не кора, а подкорка — «центр сознания», что ретикулярная формация (сплетение разнообразных нервных клеток в стволе мозга) является регулятором коры, активируя ее деятельность, сохраняя ее бодрое состояние.

Сейчас уже очевидно, что рассматривать ретикулярную формацию ствола



Современное представление о механизме состояния сна и пробуждения. 1 — состояние сна; 2 — внешний раздражитель (в данном случае звуковой) приводит к возбуждению слухового анализатора. Отсюда возбуждение попадает в ассоциативное поле коры, схематически представляемое как физиологический субстрат второй сигнальной системы. Происходит оценка значимости раздражителя; 3 — если раздражитель имеет жизненно важное значение, то возбуждается ретикулярная формация; 4 — ретикулярная формация активирует всю кору — происходит пробуждение и с помощью второй сигнальной системы организуется адекватная реакция; 5 — если раздражитель не имеет значения, то задерживающие импульсы от коры тормозят ретикулярную формацию; 6 — последний момент перед погружением в сон. Импульсы от раздражителя еще возбуждают анализаторное поле коры, но оно лишено возможности активировать ретикулярную формацию, поэтому очень скоро погружается в тормозное состояние и наступает полный сон (по Д. Матееву)



как единственный механизм активации коры неразумно. Вероятно, следует предположить существование нескольких активирующих систем. Мозг, таким образом, представляет очень сложную саморегулирующуюся систему.

Пример саморегуляции коры, осуществляемой с помощью подкорковых образований, — смена бодрствования сном. Для упрощения обобщим под названием «ретикулярная формация» все активирующие подкорковые образования. Имеются достаточные основания считать, что пробуждение наступает только тогда, когда раздражение достигает коры и оценивается ею (сравнивается с приобретенными на основании прошлого опыта корковыми моделями внешнего мира). Если значение раздражения велико, импульсы возбужденного участка коры идут в ретикулярную формацию, и она уже активирует, побуждает к деятельности остальные зоны коры. Если же биологическая «ценность» сигналов незначительна, в ретикулярную формацию поступают задерживающие импульсы — и сон длится далее (разумеется, это чрезвычайно упрощенная модель).

Точно так же и электронаркоз может быть представлен как процесс саморегуляции коры головного мозга посредством так называемых неспецифических систем подкорки. В этом нас убеждают различные экспериментальные данные, в том числе и математический анализ электрической активности различных отделов мозга, проведенный в нашей лаборатории с помощью электронно-вычислительных машин.

Анализ явлений при электронаркозе позволил нам еще несколько лет назад представить его как парабитический процесс, развертывающийся во времени и пространстве.

Однако последние данные заставляют думать не только об «энергетической» стороне вопроса, но и обратить внимание на специфику переработки информации во время того или иного функционального состояния мозга.

Сейчас уже совершенно достоверно, что при сне количество работающих нейронов в коре равно числу их, функционирующих при бодрствовании. Это обстоятельство заставляет некоторых ученых думать, что собственно торможение существует только на уровне нейрона, а не в такой большой системе как кора мозга. Может быть, прав известный итальянский нейро-

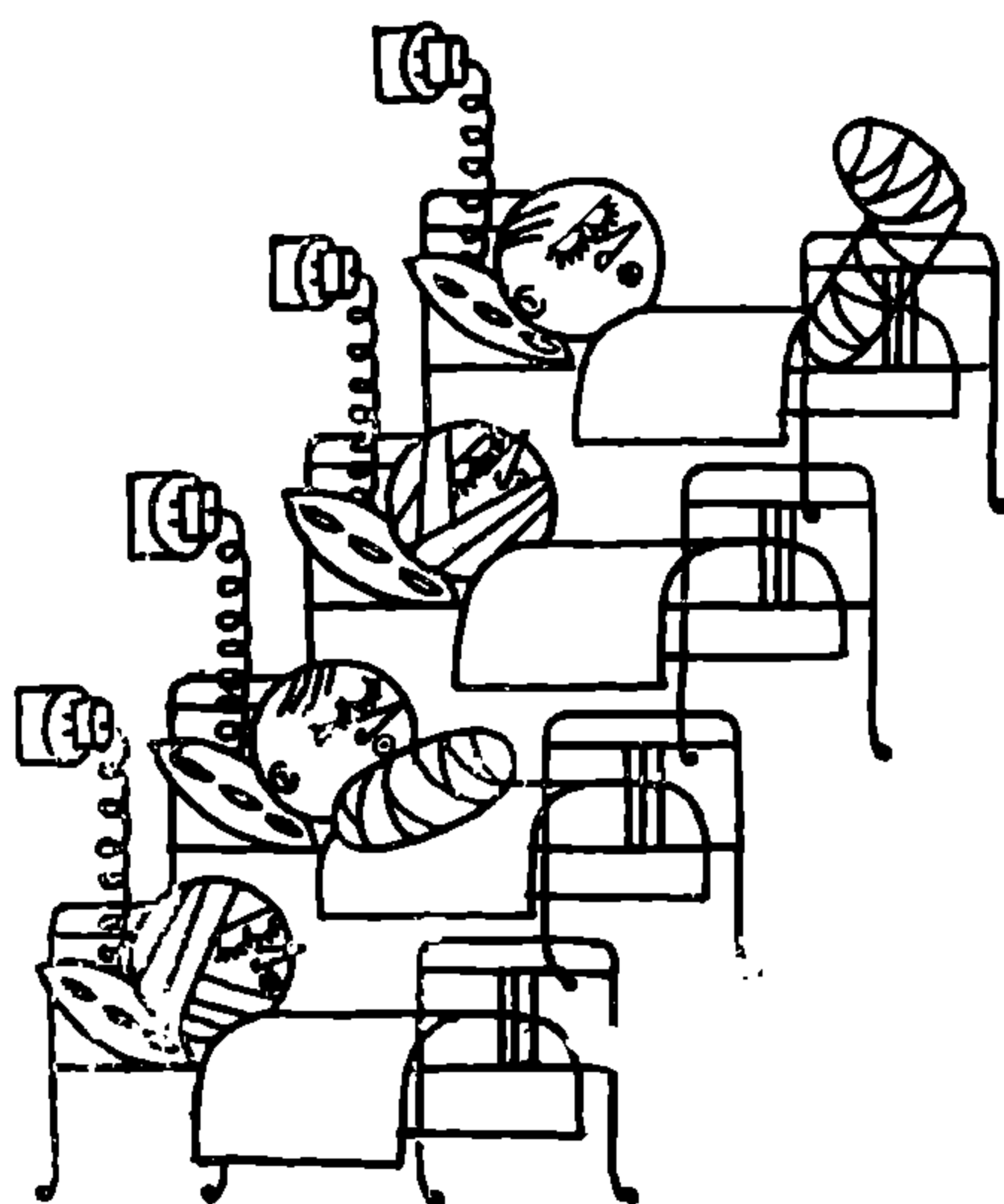
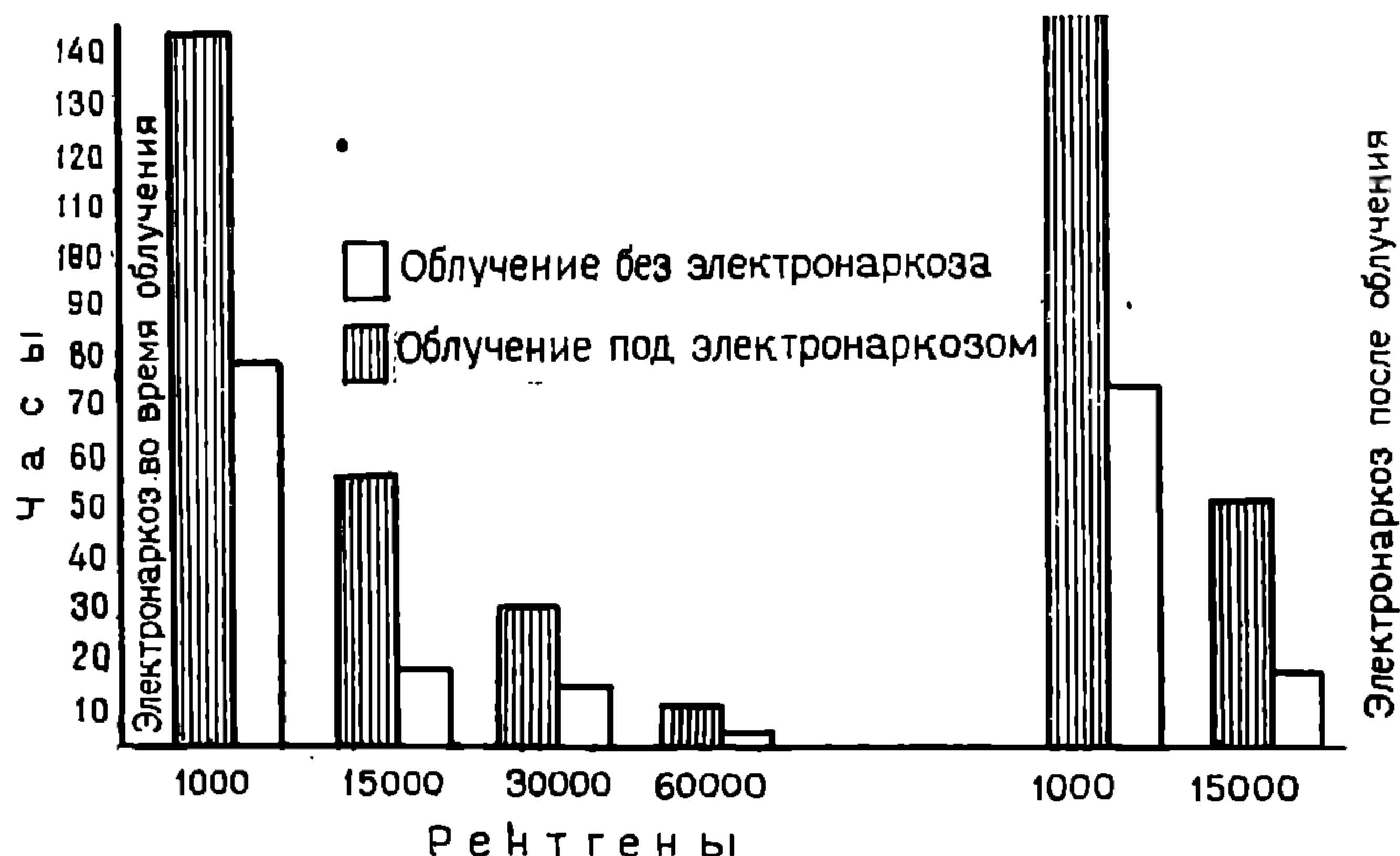


Диаграмма продолжительности жизни кролика при различных фазах облучения. При электрическом наркозе жизнь животного удлиняется даже при лучевом ударе большой мощности



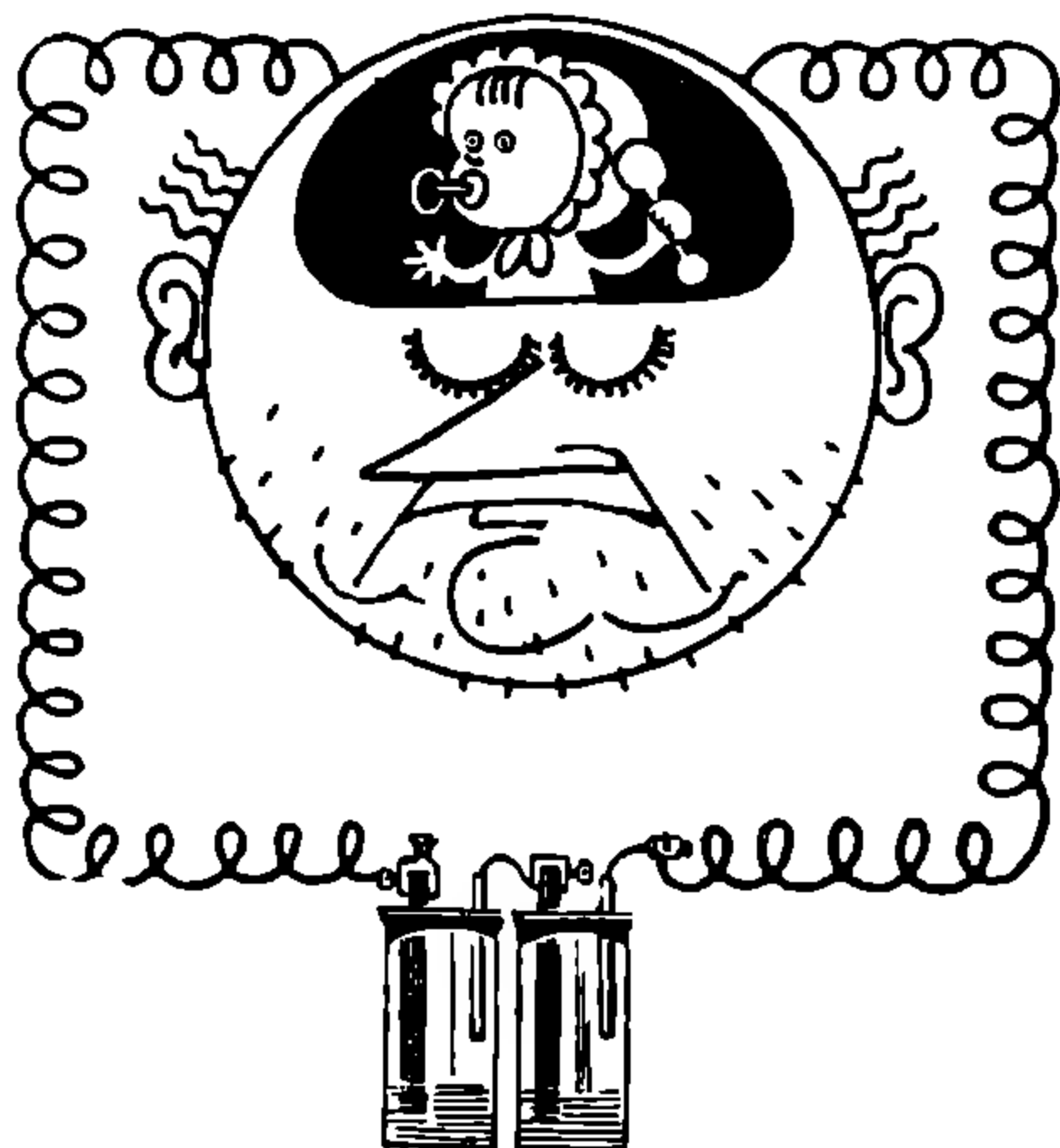
физиолог Д. Моруцци, что сон — вовсе не результат подавления активности корковых клеток; нарушается только конфигурация (паттерн) их разрядов. Многое здесь неясно и подлежит экспериментальной разработке.

То же касается и наркоза, который, по нашему мнению, нельзя рассматривать как диффузное, разлитое торможение коры, спускающееся на подкорку. Эксперименты, проведенные в нашей лаборатории О. Н. Лукьяновой и К. И. Кузьминой, показали, что в ходе наркоза (фармакологического и электрического) в коре создаются своеобразные макроансамбли нейронов, все время меняющие свое функциональное состояние: электрическая активность отдельных участков коры от быстрых колебаний переходит к синхронизации, так называемые «веретена» сменяются периодами «молчания». Затем эти участки снова возобновляют свою деятельность.

Тут же возникает очень интересный вопрос: когда прекращается этот процесс саморегуляции, когда «ломаются» его механизмы? Нас давно волнует поразительный факт: для самых разнообразных живых систем (инфузории и нервномышечный аппарат человека) при действии на возбудимые ткани самых различных агентов (электрический ток, ионизирующая радиация, гравитация) зависимость между силой действующего раздражителя и временем его действия для достижения одинакового эффекта выражается одним и тем же несложным математическим выражением:

$$J = \frac{a}{\sqrt{t}} + 1, \text{ где } J — \text{сила раздражителя, } a — \text{постоянная, } t — \text{время.}$$

Весьма вероятно, что это однотипное поведение столь различных по сложности систем возможно тогда, когда саморегуляция уже невозможна, а сложная система превращается в конгломерат отдельных элементов. К развиваемым взглядам близко мнение выдающегося кибернетика У. Р. Эшби (личное сообщение), который на этот счет заметил следующее: в мозгу в процессе эволюции возник метод «частичной самополомки» — «обычный и весьма практичный метод преодоления трудностей необычного» (пример этому — электрические предохранители: если сила тока внезапно возрастает, то обеспечивается разрыв цепи в результате их сгорания). При этом, замечает Эшби, если у нас есть система с большим числом «ломающихся» переменных, то в поведении системы обнаружатся примерно такого же рода закономерности, как в том случае, когда поведение множества молекул газа дает нам газовые законы.



## Перспективы

В каком же направлении следует продолжать разработку проблемы? Прежде всего, думается, надо установить оптимальные параметры электрических агентов, действующих на центральную нервную систему. В первую очередь это касается формы, частоты и продолжительности импульсов. В свое время мы со своими сотрудниками пришли к выводу, что наиболее подходящая частота импульсов определенной формы — 1000 гц. Однако наши последние исследования говорят о необходимости искать другие параметры.

Некоторые надежды мы возлагаем на метод интерференцнаркоза: в результате действия на мозг двух высокочастотных электрических сигналов в нем появляются низкочастотные биения. Весьма вероятно, что специфичность действия интерферирующих токов обуславливается возбуждением внутри организма биоэлектрических явлений, сходных с теми, которые присущи нормальному функционированию.

Еще в 1962 г. автор высказал убеждение в перспективности применения не только интерферирующих токов, но и интерферирующих электромагнитных полей. Но о сколько-нибудь значительных результатах в этом направлении говорить еще рано.

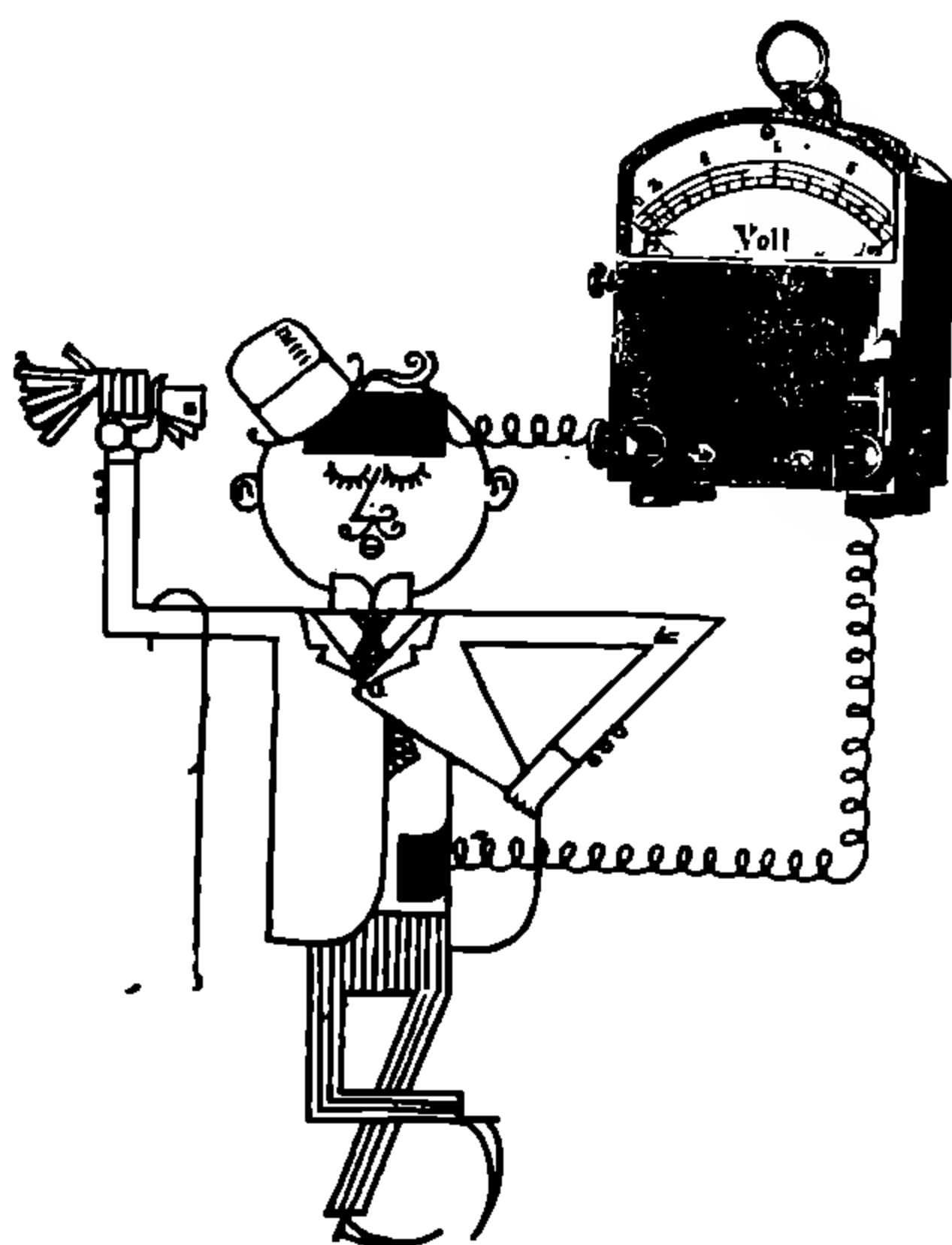
Эксперименты, проведенные нашим аспирантом В. И. Лавриненко, дают надежду, что можно будет изменять функциональное состояние мозга при помощи «гибридного» воздействия: одновременного влияния на мозг электромагнитного поля и импульсного тока.

Электронаркоз может быть использован — это очень существенно — не только как средство обезболивания во время операции. Под руководством акад. Б. В. Петровского разработан лечебный наркоз, применяемый в послеоперационном периоде. Закись азота несет избавление от боли, послеоперационные осложнения становятся более редкими. Б. В. Петровский и С. Н. Ефуни считают, что лечебный наркоз эффективен при острой коронарной недостаточности, бронхиальной астме, почечной колике. Весьма перспективным, по нашему мнению, может явиться использование неглубокого электронаркоза в качестве лечебного.

Уже давно известны факты изменения реактивности организма при помощи наркоза (В. С. Галкин и др.). Едва ли это присуще только наркозу фармакологическому. Еще в 1953 г. нам удалось доказать, что электрический наркоз не дает проявиться отравляющему действию цианистых соединений на организм кролика, а немногим позднее по нашему предложению Л. Д. Муравьев добился излечения поверхностным электронаркозом острого отека легких у собаки, вызванного сернистым газом.

Недавно в нашей лаборатории был получен материал о защитном эффекте электрического наркоза при острейшей лучевой болезни. Оказывается, электрический наркоз может быть использован для удлинения жизни животных при лучевом ударе даже такой мощности как 30—60 тыс. рентген! Защитный эффект проявлялся не только при облучении животного, находящегося в состоянии наркоза, но и при погружении его в наркоз непосредственно после облучения. Эти эксперименты еще раз подтверждают эффективность наркоза в качестве средства глубокого влияния на реактивность живого организма. Сейчас даже трудно прогнозировать, какой эффект дадут исследования в этом направлении. Но можно быть глубоко уверенным в том, что медицина будущего широко использует чудесные свойства торможения, вызванного электрическим током. Более того, в руках биокибернетика электрические факторы станут мощным средством для управления переработкой информации в головном мозгу человека и животных. И это — дело обзримого будущего.

УДК 617—089.584



# Природа информации

А. Д. Урсул

Кандидат философских наук



Аркадий Дмитриевич Урсул — доцент кафедры философии МГПИ им. В. И. Ленина, ученый секретарь комиссии по философским вопросам теории информации Научного совета по кибернетике при Президиуме АН СССР. Автор книги «Освоение космоса (философско-методологические и социологические проблемы)». М., 1967; ряда брошюр и статей по философским проблемам кибернетики и освоения космоса.

Учение об информации еще очень молодо (теория информации возникла всего 20 лет назад), однако оно стремительно развивается и проникает в различные науки. Теория информации сейчас успешно применяется в таких науках, как физика, химия, биология, медицина, психология, педагогика, лингвистика, экономика, технические науки, эстетика, логика, философия и т. д. Столь бурное развитие теории информации свидетельствует о том, что понятие «информация» отражает нечто важное для современной науки. Что же такое информация!

## Вероятность и информация

Первоначально понятие информации обозначало сведения, которыми люди обмениваются в процессе своего общения. Однако в дальнейшем, в связи с возникновением статистической теории информации, такое понимание было существенно расширено. Под информацией стала пониматься уничтоженная (снятая) неопределенность, а под количеством информации — степень уничтоженной неопределенности. Понятие неопределенности обычно связывают со случайными явлениями. Так, если мы бросаем монету, то заранее не знаем, какая выпадет сторона — герб или цифра. Перед бросанием игральной кости возникает еще большая неопределенность — ведь граней у игральной кости шесть. Неопределенность существует тогда, когда производится выбор из некоторой совокупности элементов или одного элемента, или же некоторой их части.

В случае, если множество (совокупность) состоит из одного элемента, то нам не из чего выбирать — можно выбрать один и только один элемент; это как бы бросание «монеты», имеющей всего одну «сторону». Вероятность выбора «стороны» в этом случае равна единице. Теперь рассмотрим множество из двух элементов (например, «нормальную» монету, имеющую две стороны). Вероятность выпадения какой-либо стороны (выбора стороны) в этом случае равна уже  $p = 1/2$  (рис. 1).

Каждое бросание монеты, игральной кости и т. д. в теории вероятностей называется испытанием, а число испытаний, когда появляется данный результат  $A$  (выпадение, например, именно герба монеты), называется результатом испытания, благоприятствующим событию  $A$ . Вероятность события  $A$ , обозначаемая  $p(A)$ , определяется как отношение числа возможных результатов испытания, благоприятствующих  $A$ , к числу всех возможных результатов испытания. Однако при таком определении вероятности подразумевается, что отдельные результаты испытания равновозможны. Равновозможно, например, выпадение герба или цифры монеты, ибо монета симметрична. Равновозможными оказываются выпадения граней игральной кости (для симметричного куба) и т. п.

Условия равновозможности нарушаются, если нарушается симметрия. Так, если сделать материал игральной

кости неоднородным (допустим, залить под одну из поверхностей немного свинца, как это часто проделывали шулера), то преимущественно будет выпадать одна определенная грань. В этом случае упомянутое отношение  $p(A)$  уже выражает не вероятность, а частоту появления события  $A$ . Но, оказывается, при большом числе испытаний частота события  $A$  близка к вероятности. Вероятность представляет собой как бы некоторую постоянную, вокруг которой может колебаться частота. При таком определении вероятность носит название частотной, или статистической вероятности.

Если имеется множество, состоящее из одного элемента, то степень неопределенности выбора равна нулю ( $p = 1$ ). В множестве с двумя элементами (пример с бросанием монеты) степень неопределенности выбора стороны уже отлична от нуля — ведь может выпасть или та, или другая сторона ( $p = 1/2$ ). Продолжая эти рассуждения, мы приходим к выводу, что увеличение числа элементов в множестве ведет к росту степени неопределенности и к уменьшению вероятности при выборе одного элемента. Получается, что бесконечному числу элементов в множестве соответствуют при выборе бесконечная неопределенность и нулевая вероятность.

Итак, степень неопределенности  $H$  и вероятность  $p$  связаны друг с другом. Казалось бы, эта зависимость весьма проста и имеет вид  $H = 1/p$ . Действительно, при  $p = 0$  степень неопределенности равна бесконечности; чем больше вероятность, тем меньше степень неопределенности.

Но когда мы переходим к  $p = 1$  и подставляем значение в формулу, то получаем, что и  $H = 1$ . Но это неверно. Ведь при  $p = 1$  степень неопределенности должна быть равна нулю, ибо выбирать не из чего — в множестве содержится всего один элемент. Значит, зависимости между  $H$  и  $p$  должна быть иной. Оказывается, если мы положим  $H = \log 1/p = -\log p^1$ , то в этом случае мы удовлетворим всем условиям связи степени неопределенности с вероятностью.

Уменьшение степени неопределенности достигается в результате получения сообщения. Так, если мы хотим узнать, прибыл ли интересующий нас самолет, то, получив по телефону ответ «да», мы тем самым уменьшаем неопределенность наших знаний. Однако, получив ответ «нет», мы также уменьшим эту неопределенность. Если вероятности обоих ответов равны ( $p = 1/2$ ), то уменьшение неопределенности происходит в обоих случаях на одну и ту же величину. В статистической теории информации количество информации измеряется степенью уничтоженной (снятой) неопределенности. Следовательно, количество информации — это мера определенности (в частности, наших знаний после выбора, получения сообщения) (рис. 2).

Современная статистическая теория информации не

<sup>1</sup> Для полного определения вида функции  $H = \Phi(p)$  необходимы еще дополнительные требования, которым также удовлетворяет логарифмическая функция. См. А. М. Яглом и И. М. Яглом. Вероятность и информация. Физматгиз, 1960, стр. 45. Там же доказывается единственность этой функции, стр. 104—106.

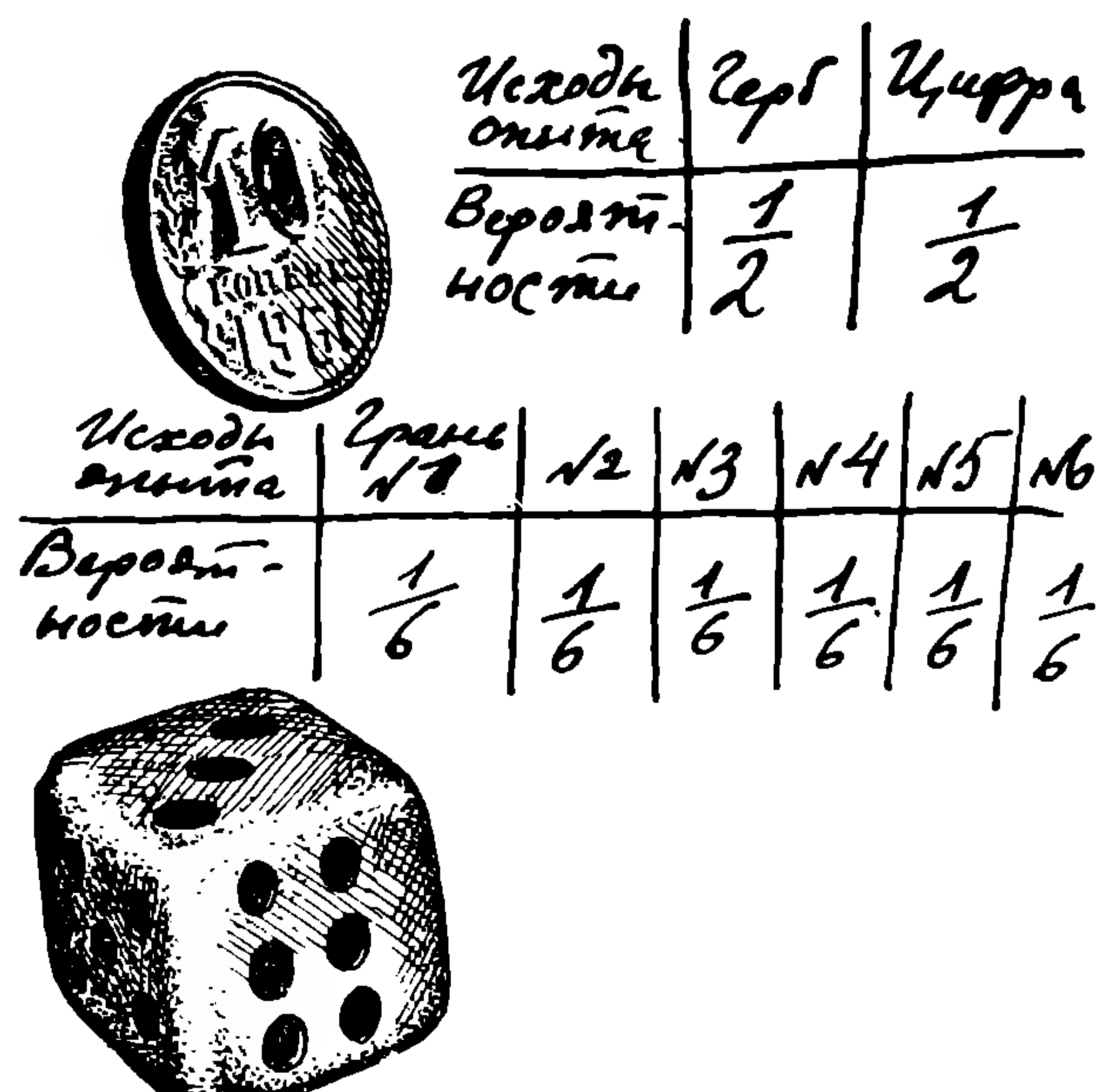


Рис. 1. Вероятность выпадения сторон монеты и граней игральной кости

изучает информацию, приносимую отдельным испытанием, событием. Вместо этого в ней рассматривается среднее количество информации. В случае, когда необходимо установить степень неопределенности опыта с  $N$  — различными исходами, ее определяют как логарифм числа этих исходов, если вероятности исходов равны (так называемая формула Хартли:  $H = \log N$ ). Однако эти вероятности могут быть и различными.

Предположим, что осуществляется опыт, состоящий в извлечении одного шара из ящика, содержащего один черный и два белых шара. Легко определить, что вероятность вынуть черный шар равна  $1/3$ , а вероятность выбрать белый шар  $2/3$ , т. е. числу выбираемых шаров, деленному на число всех шаров. В качестве меры неопределенности всего опыта принимается среднее значение неопределенности отдельных возможных исходов. Это среднее значение получается, если вероятность каждого отдельного исхода (в первом случае  $1/3$ ) умножается на его неопределенность ( $-\log_2 1/3 = \log_2 3$ ) и эти произведения складываются. В нашем примере, взяв за основание логарифма два, мы имеем:  $H = 1/3 \log_2 3 + 2/3 \log_2 3/2 \approx 0,925$  (двоичных единиц информации, или битов) (рис. 3).

В общем случае, если производится опыт с возможными исходами  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , мера среднего значения степени неопределенности равна

$$H = p(A_1) \log \frac{1}{p(A_1)} + p(A_2) \log \frac{1}{p(A_2)} + \dots + p(A_n) \log \frac{1}{p(A_n)} = - \sum_{i=1}^n p(A_i) \log p(A_i),$$

где  $p(A_i)$  — вероятности отдельных исходов опыта. (Величина  $H$  зависит от принятого основания логарифмов в том же смысле, в каком величина длины зависит от того, выбрали ли мы за единицу измерения дюйм или сантиметр и т. д.)

Эта формула, предложенная еще в 1948 г. американским ученым К. Шенноном, в настоящее время, пожалуй, не уступает в известности знаменитой эйнштейновской формуле  $E = mc^2$ .

Если в результате опыта уничтожается неопределенность, соответствующая формуле Шеннона, то количество информации  $I$  оказывается равным уничтоженной неопределенности, т. е.  $I = H$ . Формулу Шеннона еще называют формулой негэнтропии (а некоторые ученые — просто энтропии), поскольку она с точностью до знака аналогична формуле энтропии в статистической термодинамике. Следует отметить, что в современной статистической теории информации приведенная формула Шеннона уже заменена другой, более общей.

### Информация без вероятности

В настоящее время наиболее интенсивно развивается статистическая теория информации. Взаимосвязь понятий вероятности и количества информации дала повод считать, будто бы теория информации в математическом плане — один из разделов теории вероятностей. Однако это не так.

Понимание информации как уничтоженной неопределен-

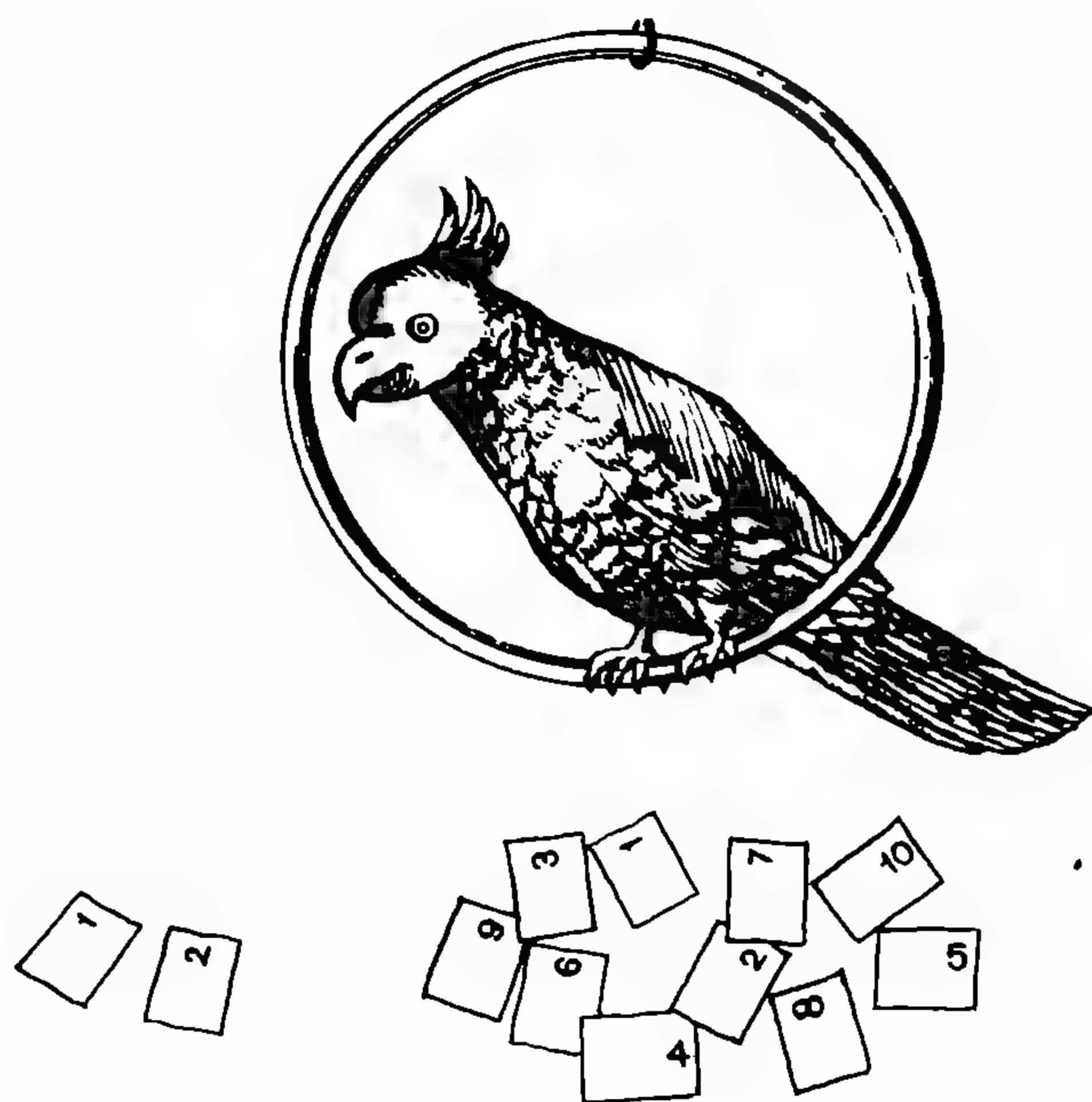


Рис. 2. Выбор одной из двух одинаковых карточек дает одну двоичную единицу информации (1 бит). Выбор одной из десяти одинаковых карточек дает одну десятичную единицу информации (1 хартли)  
1 хартли = 3,32 бита

ности не обязательно связано с процессом случайного выбора. Ведь выбор можно производить не только случайно, но и по какой-либо программе. Очевидно, главное для теории информации — это существование некоторого множества элементов, а не случайный их характер. И, действительно, в настоящее время развиваются и невероятные, нестатистические подходы в теории информации<sup>1</sup>.

Так, одновременно со статистической теорией информации появились идеи комбинаторного определения количества информации. Казалось бы, комбинаторное определение количества информации является частным случаем статистического, поскольку оно выражается так же, как и количество информации по Хартли — через  $\log N$ , где  $N$  — число элементов в множестве (число событий в данной совокупности). Однако в работах акад. А. Н. Колмогорова, опубликованных в последнее время<sup>2</sup>, отмечается логическая независимость комбинаторного и статистического подходов к определению количества информации. Комбинаторное представление не зависит от теоретико-вероятностного подхода. Согласно

<sup>1</sup> Далее мы лишь кратко упоминаем некоторые из невероятных подходов; более подробно об этом см. в статье «Нестатистические подходы в теории информации», «Вопросы философии», 1967, № 2.

<sup>2</sup> См., например, А. Н. Колмогоров. Три подхода к определению понятия «количество информации». «Проблемы передачи информации», 1965, т. 1, вып. 1.

этому представлению, количество информации есть не что иное, как число двоичных знаков, необходимых для того, чтобы выделить определенный элемент  $x$  из множества  $X$ , состоящего из конечного числа элементов. Комбинаторные идеи используются в теории кодирования и декодирования информации (рис. 4).

Кроме комбинаторного, существуют еще несколько невероятных подходов к определению количества информации. Это, прежде всего, алгоритмический<sup>1</sup>, тесно связанный с теорией рекурсивных функций, т. е. функций, вычисляемых с помощью алгоритмов (введен в 1965 г. А. Н. Колмогоровым) (рис. 5.)

Известны попытки распространения понятия количества информации на топологические структуры (понятие так называемого топологического количества информации, предложенное в 1955 г. американским ученым Н. Рашевским (рис. 6), а также на динамические системы. Примером последних могут быть обычные механические системы. Теория динамических систем связана с развитием классических задач теории дифференциальных уравнений. В отличие от статистических совокупностей, которые рассматривались выше, динамические системы однозначно детерминированы. Однако и к ним оказалось применимо понятие количества информации. Существующие подходы к определению количества ин-

<sup>1</sup> Там же.

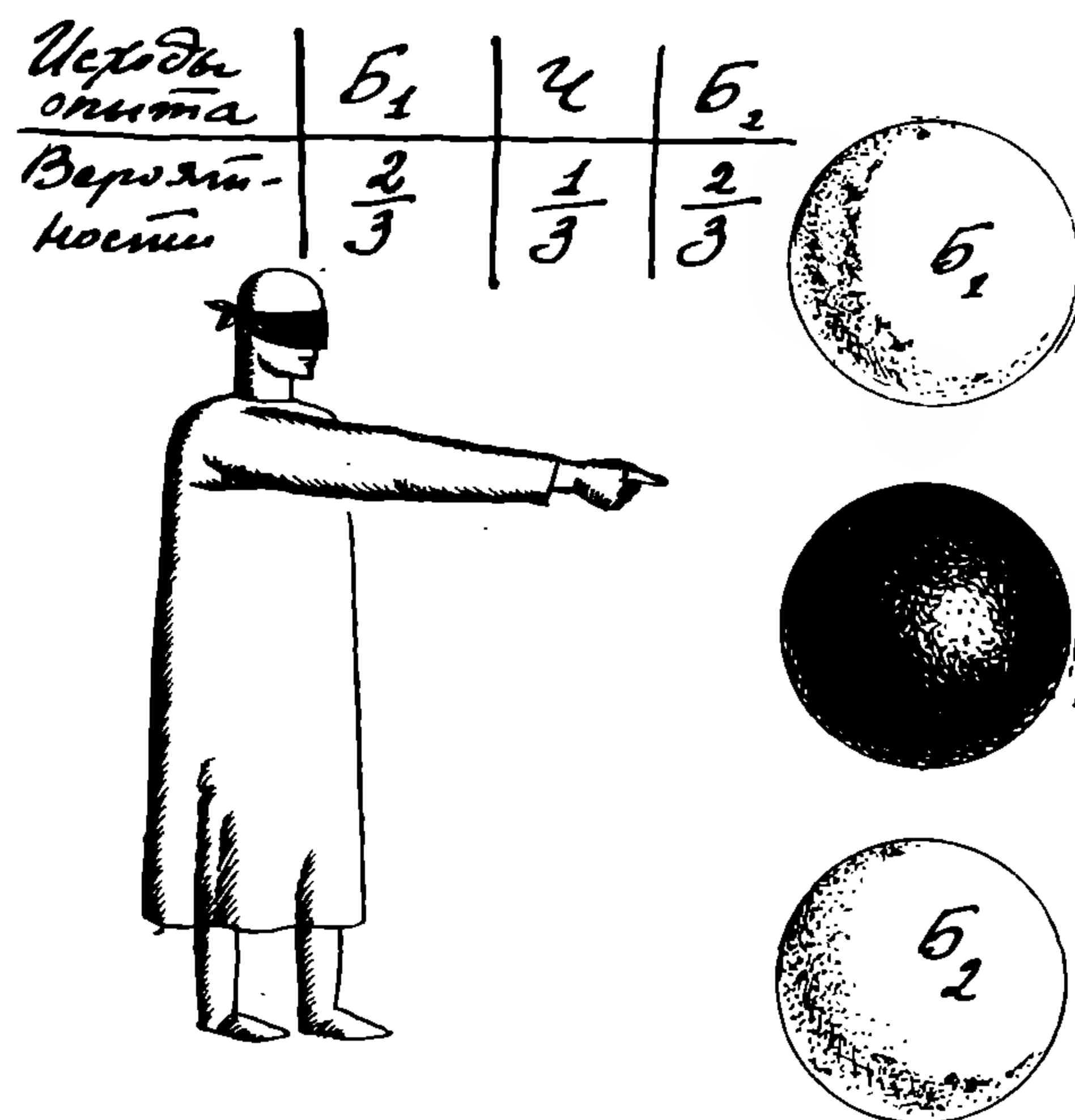


Рис. 3. Вероятность выбора белых и черного шаров. В результате выбора приобретает 0,925 битов, или 0,276 хартли

формации своеобразны и несводимы к статистическому определению. Можно предполагать, что впоследствии будет обосновано распространение понятия количества информации на динамические, топологические и комбинаторные структуры (а также на статистические). При этом, по-видимому, будет дано и общее его определение на базе теоретико-множественных представлений (теории меры).

Уже сейчас появление и развитие невероятностных подходов привели к постановке чрезвычайно интересной проблемы, относящейся, в частности, к обоснованию теории вероятностей. Количество информации в формуле Шеннона определяется через вероятность. Были высказаны соображения, что в принципе можно поступить и наоборот: вначале определить количество информации, а затем — через него — понятие вероятности. Такой подход оправдывается практическими соображениями. Хорошо известны случаи, когда количество информации может быть определено, а распределение вероятностей практически определить невозможно. Так, энтропия газа может быть измерена, а распределение скоростей его молекул, т. е. микроструктура газа нам совершенно неизвестна. Но если через микросостояния определяется макросостояние (энтропия), то возникает мысль: нельзя ли сделать наоборот?

С математической стороны здесь нет никаких принципиальных препятствий. А. Н. Колмогоров развивает интересные идеи о возможности обоснования теории вероятностей при помощи введенного им алгоритмического определения количества информации. Польские ученые Р. С. Ингарден и К. Урбаник вначале аксиоматически, на базе теоретико-множественных представлений,

определяют количество информации, а затем на его основе — понятие вероятности (рис. 7). Эти ученые даже полагают, что теперь вполне возможно всю статистическую физику изложить без понятия вероятности — в чисто информационном аспекте (такие попытки уже хорошо известны). Но тогда весь математический аппарат наук, использующих понятие вероятности, может быть изложен на основе понятия количества информации. Не исключено, что в будущем в основе теории вероятностей будут лежать понятия теории информации. Это еще более подтверждает правильность вывода, который делает А. Н. Колмогоров: «Информация по своей природе — не специально вероятностное понятие». Но в чем же тогда заключается наиболее общее содержание, или как еще говорят, природа информации?

## Информация и разнообразие

Думается, что правильный ответ на поставленный вопрос одним из первых дал известный английский ученый У. Росс Эшби в своей книге «Введение в кибернетику», специальная часть которой посвящена концепции разнообразия. Согласно Эшби, понятие информации неотделимо от понятия разнообразия.

Определять разнообразие довольно просто. Если в какой-либо совокупности (множестве) два элемента отличаются — значит, они различны. Так, если имеются три одинаковых шара разных цветов (черный, красный и белый), то это множество обладает разнообразием в три элемента (рис. 8). Если речь идет о количестве разнообразия случайных событий и распределении их вероятностей, то мы имеем дело со статистической теорией

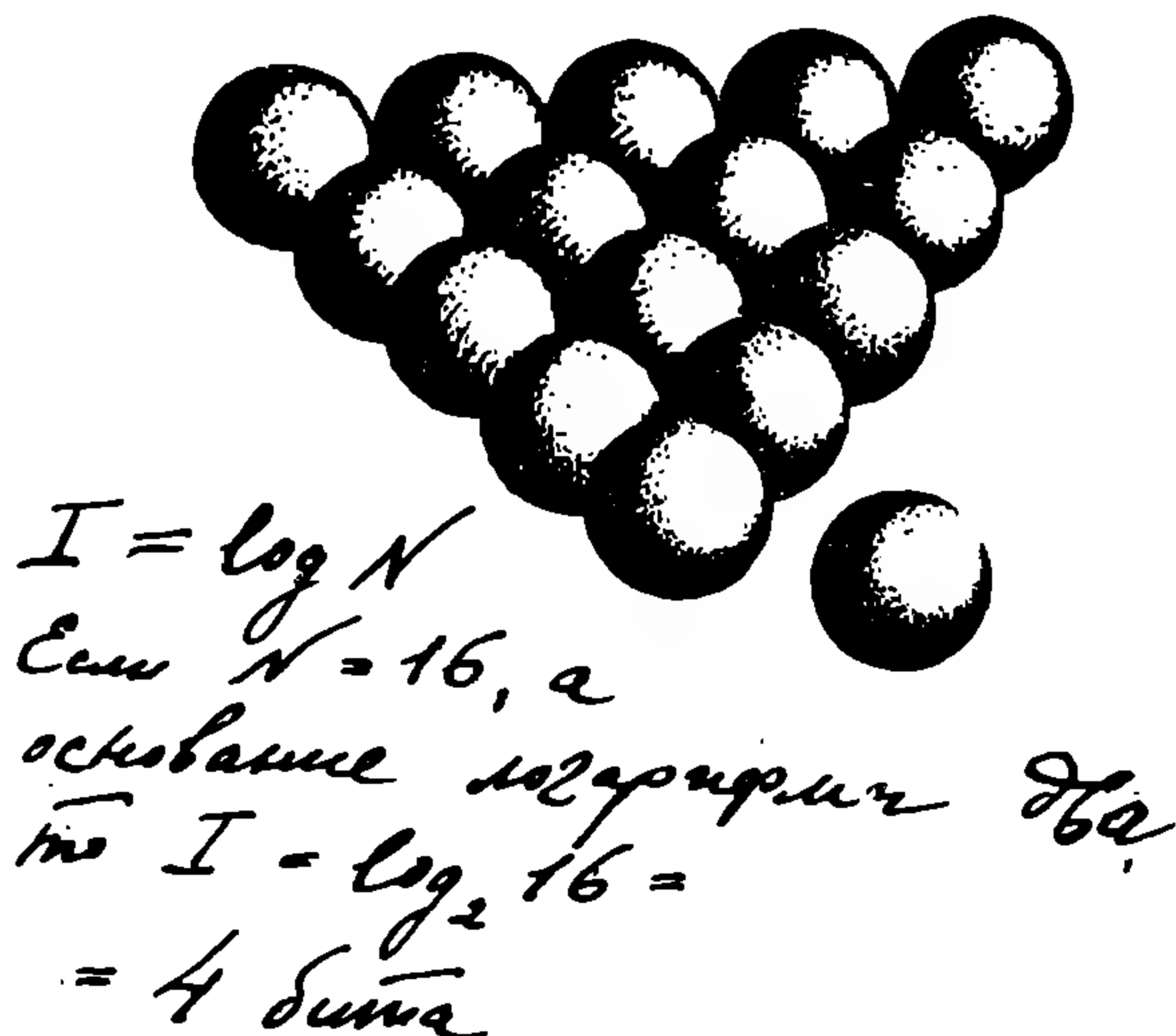


Рис. 4. Комбинаторное определение количества информации как логарифма мощности (количества элементов) конечного множества. Оно в принципе не связано с воспринимающей системой

информации. Если мы определяем разнообразие динамических систем, разнообразие топологических структур и т. д., то здесь мы сталкиваемся с иными видами разнообразия математических структур.

Слово разнообразие, отмечает Эшби, в применении к множеству различных элементов может употребляться в двух смыслах: 1) как число различных элементов; 2) как логарифм этого числа по основанию два (т. е. измеряется в битах). В книге Эшби вводится следующее важное понятие — ограничение разнообразия. Если понятие разнообразия неотделимо от понятия информации, то ограничение разнообразия равносильно установившемуся в статистической теории информации понятию избыточности. Пусть имеются два множества с одинаковым конечным числом элементов, причем в одном из них все элементы различные, а в другом есть и одинаковые. Первое множество — это множество с максимальным разнообразием, второе — множество с ограниченным разнообразием, т. е. с избыточными элементами. Логарифмическое количество разнообразия (информации) в первом множестве обозначим через  $I_{\max}$ , во втором — через  $I_{\text{факт}}$ . Очевидно, что  $I_{\max} > I_{\text{факт}}$ . Избыточность определяется простой формулой

$$R = 1 - \frac{I_{\text{факт}}}{I_{\max}}$$

Из формулы видно, что избыточность тем больше, чем больше ограничение разнообразия, а если все элементы в множестве одинаковы — избыточность равна единице (рис. 9). Например, избыточность языка тем больше, чем больше повторений, стандартных оборотов, невыразительных предложений; слишком низкая избыточ-

ность свидетельствует о чрезмерной усложненности языка.

В последнее время и другие ученые развивают концепцию информации как разнообразия. Акад. В. М. Глушков полагает, что всякая неоднородность (а неоднородность — это, по существу, вид разнообразия) несет с собой информацию. «Информация существует постольку, — пишет В. М. Глушков, — поскольку существуют сами материальные тела и, следовательно, созданные ими неоднородности»<sup>1</sup>. Английский кибернетик Ст. Бир также следует концепции разнообразия в книге «Кибернетика и управление производством». Покойный акад. И. И. Шмальгаузен в своих работах по применению теории информации в биологии употреблял понятие многообразия<sup>2</sup>, Н. Рашевский пользовался понятием различия, французский ученый А. Моль — оригинальности и т. д. Короче говоря, многие ученые под информацией понимают фиксирование разнообразия, различия в том или ином его виде.

Итак, мы не должны рассматривать понятие информации только как производное от понятия вероятности. Появление невероятных подходов показало, что трактовка информации как снятой неопределенности уже не является удовлетворительной. Ведь неопределенность связана с выбором. Этот выбор может производить человек, животное или кибернетическое

<sup>1</sup> В. М. Глушков. О кибернетике как науке. «Кибернетика, мышление, жизнь». Изд-во «Мысль», 1964, стр. 53.

<sup>2</sup> Интересно отметить, что еще до создания теории информации термин «многообразие» для описания термодинамических процессов был употреблен советскими учеными Г. Покровским и А. Некрасовым в статье «О втором начале термодинамики» (журнал «Под знаменем марксизма», 1935, № 3).

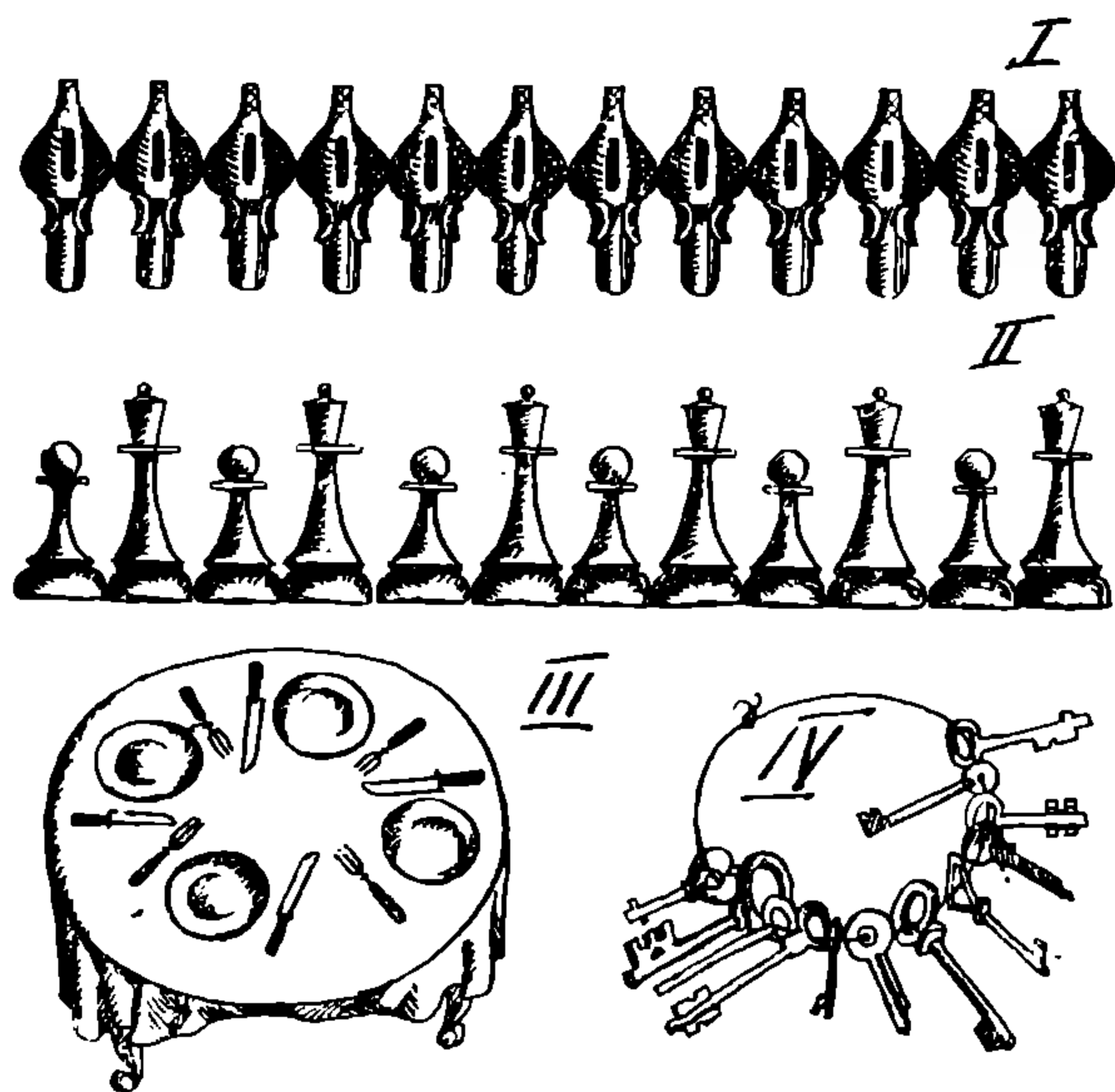


Рис. 5. Алгоритмический подход к определению количества информации. Наименьшая возможная длина программы последовательности служит мерой ее сложности и может измерять количество информации, содержащейся в программе относительно последовательности. Количество информации (сложность) программы последовательности I минимальная, а последовательности IV максимальная, ибо в последнем случае каждый следующий предмет отличается от предыдущего

устройство. Выбор происходит и в неживой природе, однако лишь там, где есть случайные процессы. А где нет случайных процессов и нет воспринимающих информацию систем? Может ли там существовать информация?

Современная наука отвечает положительно на этот вопрос. Например, комбинаторное количество информации necessarily связано с процессом выбора элемента из некоторого конечного множества. Выбор непременно предполагает существование производящей его системы, но ведь комбинаторное количество информации можно рассматривать и независимо от воспринимающей системы — как количественное разнообразие элементов конечного множества. Аналогичные соображения можно высказать и в адрес других невероятностных подходов к определению количества информации. Объяснение понятия информации на основе неопределенности, связанной с процедурой выбора, в ряде случаев приводит к сомнению в объективности информации, к точке зрения о «творении» информации воспринимающей системой. Последовательное проведение этой точки зрения приводит некоторых зарубежных ученых к субъективно-идеалистическим взглядам на информацию.

В действительности, как это очень хорошо показал Эшби в своей книге «Введение в кибернетику», информация как разнообразие не создается, а лишь используется воспринимающей (кибернетической) системой. Информация существует объективно, но используется для регулирования и управления. Современная наука дока-

зывает, что информация — это свойство материи; что в самом общем смысле информация — это разнообразие, а количество информации — это количество разнообразия, содержащегося в одном объекте относительно другого.

### Качественный аспект информации

Выше мы обсуждали только количественный аспект информации и пришли к выводу, что информация может рассматриваться как разнообразие, различие. Но ведь разнообразие бывает не только количественным, но и качественным; одно и то же количество информации может отличаться по своему качеству. В силу этого ученые пришли к необходимости качественной классификации информации. Можно, например, выделить такие классы информации, как информация в неживой природе, в живой природе, в человеческом обществе и в кибернетических устройствах. Каждый из этих видов информации имеет свою специфику и может быть разделен на уровни. Например, информация в неживой природе может рассматриваться на уровне элементарных частиц, атомов и молекул (Н. М. Амосов).

В дальнейшем, говоря о приложениях теории информации, мы в какой-то мере постараемся рассмотреть некоторые из упомянутых видов информации. Здесь же мы остановимся на краткой характеристике качественного аспекта информации только в человеческом обществе. Под человеческой (социальной) информацией понимаются сведения, которыми обмениваются между собой люди при помощи естественных и искусствен-

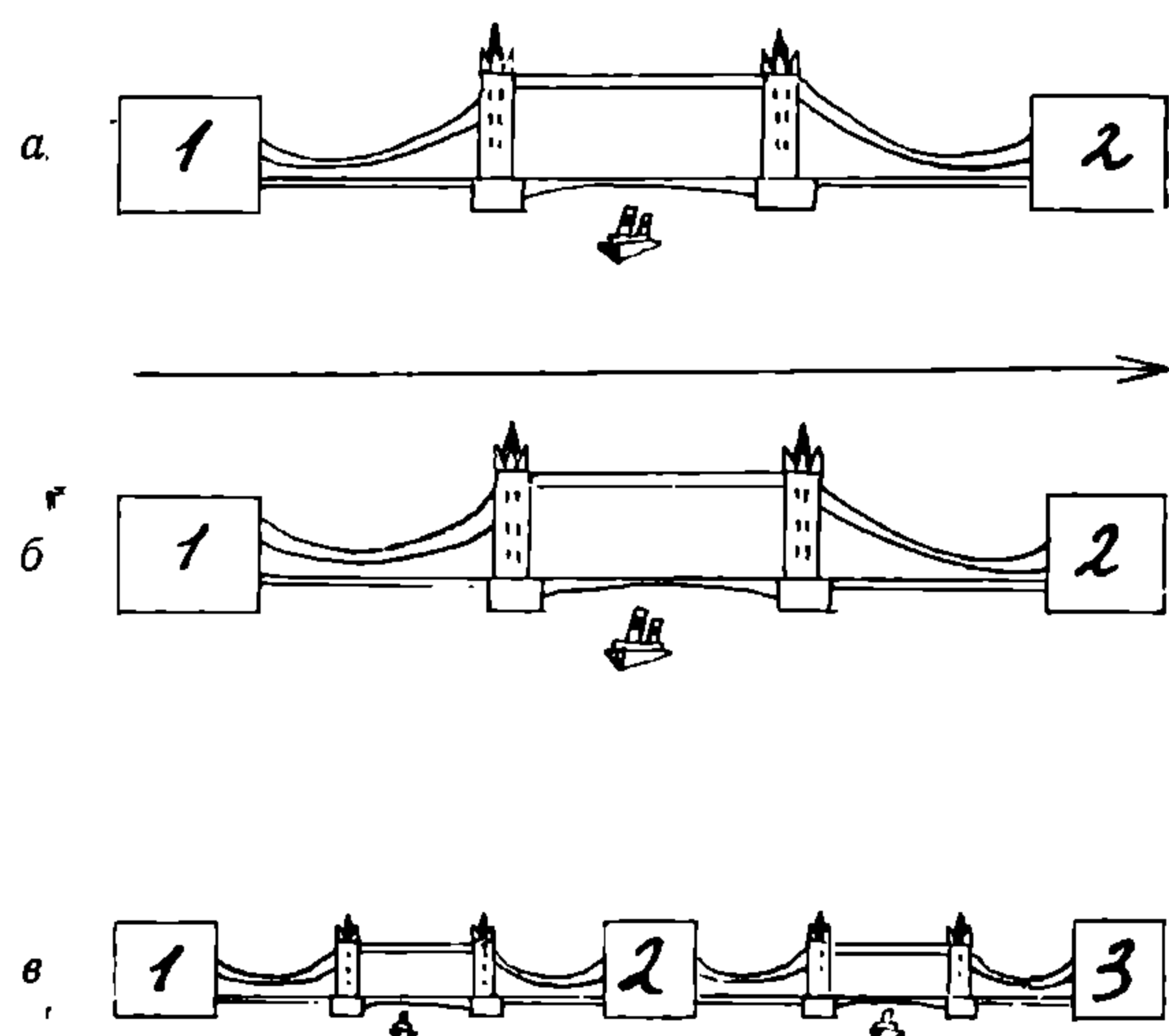


Рис. 6. Топологическое определение количества информации. В неориентированном графе а) нет возможности отличить точку 1 от точки 2 (по отношению к ребрам), поэтому его количество информации равно 0. В графе б) точки 1 и 2 топологически различимы — одна является начальной, а другая конечной, поэтому количество информации такого графа равно 1 биту. Топологическое информационное содержание графа в)  $1 = 0,92$  бита, если считать, что вероятность выбора точки 2 равна  $1/3$ , а точек 1 и 3 (топологически неразличимых) равна  $2/3$

$$\left[ I = - \left( \frac{2}{3} \log_2 \frac{2}{3} + \frac{1}{3} \log_2 \frac{1}{3} \right) \right]$$

ных языков. Человеческая информация есть как раз тот вид информации, к которому ранее сводили всю информацию.

Общее представление о человеческой информации не противоречит концепции разнообразия. Ведь сведения представляют интерес, несут с собой информацию, когда мы узнаем что-то новое, отличное от того, что нам известно. Обычно в повседневной жизни люди обмениваются между собой новыми сведениями и почти не заботятся о количественной стороне сообщений, несущих информацию. Мы имеем дело преимущественно с содержательной стороной информации, ибо главный интерес для нас представляет именно смысл, содержание сообщений. Так, два слова, состоящие из одного и того же количества букв (и даже одинаковых букв), могут иметь совершенно различный смысл, хотя при этом могут содержать одинаковое количество информации (рис. 10).

Можно ли определить количество смысла информации? Ответить на этот вопрос делает попытку так называемая семантическая теория информации, основы которой были заложены еще в 1953 году американскими учеными Р. Карнапом и Й. Бар-Хиллелом. Свою теорию они строят по аналогии со статистической теорией информации и рассматривают модель очень простого (символизированного) языка. В их теории лишь те предложения несут информацию, которые являются вероятностными суждениями, например гипотезами.

Как известно, гипотеза не подтверждена полностью экспериментальными данными, иначе бы она превратилась в теорию (такую обобщенную форму научного

мышления, истинность которой полностью подтверждена практикой). Гипотеза в отличие от теории — вероятностное знание. Поскольку понятие вероятности (но в данном случае уже логической) связано с понятием информации, то в семантической теории информации смыслом, содержанием обладают лишь вероятностные суждения (гипотезы). Поэтому, например, предложение «На Земле есть нефть» считается не несущим информацию, а предложение «На Луне есть нефть» уже считается содержащим информацию, ибо это — вероятностное знание (в действительности, существуют гипотезы о наличии нефти на Луне). При этом чем менее вероятно суждение, тем большее количество семантической информации оно содержит. Примером общеизвестного суждения, не несущего никакой информации, можно привести чеховские «Волга впадает в Каспийское море», «Лошади едят овес и сено». Конечно, основной недостаток семантической теории информации состоит в том, что она ограничивается лишь вероятностным знанием. В то же время информационным содержанием, смыслом обладают не только вероятностные, но и достоверные знания (научные теории). Поэтому в настоящее время появились попытки построения такой семантической теории информации, которая отходит от чисто вероятностных логических представлений (Ю. А. Шрейдер, Е. К. Войшвилло).

Информацию можно рассматривать не только с семантической, смысловой точки зрения, но и с точки зрения ее ценности. Приведем такой пример. Диктор поезда объявляет название следующей остановки. Смысл его сообщения поняли все пассажиры, однако одни продол-

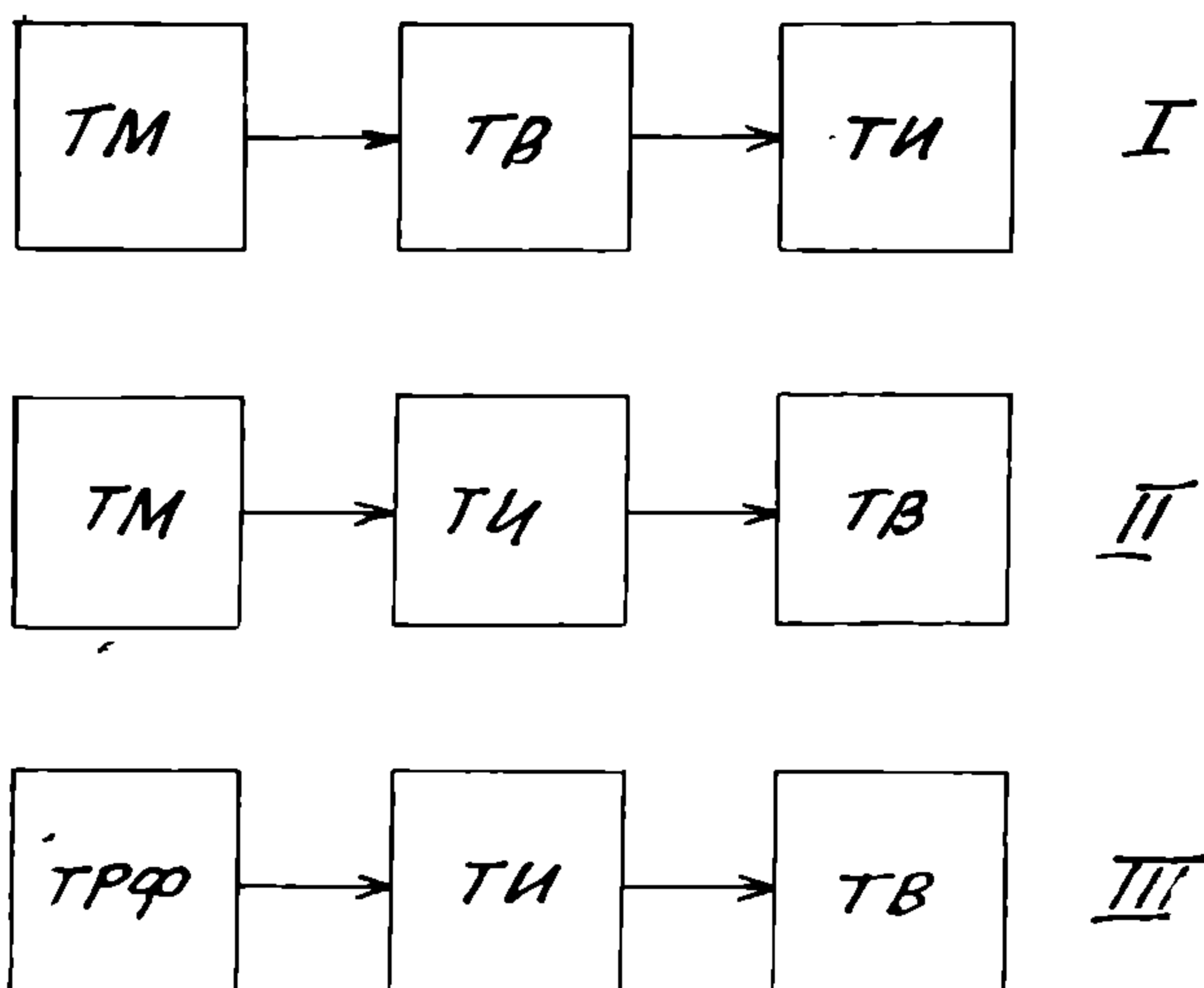


Рис. 7. Различные дедуктивные схемы построения теории вероятностей и теории информации (I — по К. Шеннону, II — по Р. С. Ингардену и К. Урбанику, III — по А. Н. Колмогорову). ТМ — теория множеств, ТВ — теория вероятностей, ТИ — теория информации, ТРФ — теория рекурсивных функций (теория алгоритмов)

жают спокойно ехать, тогда как другие готовятся сойти на названной остановке. Одно и то же предложение оказывает разное воздействие на людей, или, как говорят, имеет разную ценность для получателя сообщений (информации) в зависимости от того, какие он ставит перед собой цели. Ценность (или полезность) информации есть такое ее свойство, которое влияет на поведение получателя информации. Ценность информации изучается прагматической теорией информации (А. А. Харкевич, М. М. Бонгард, Р. Л. Стратонович, М. К. Гавурин и др.) (рис. 11).

Существует еще ряд подходов к изучению количественного и качественного аспектов информации. Следует и в дальнейшем, видимо, ожидать появления новых вариантов в концепции информации. Такое быстрое развитие идей об информации связано не только с общетеоретическими исследованиями, но и с широким внедрением теоретико-информационного метода в другие науки.

### Теория информации в науках о природе

Процессы изменения энтропии, изучаемые термодинамикой открытых систем, есть не что иное, как проявление особого вида информационных процессов в неживой природе. Появились попытки применить теорию информации не только в термодинамике, но и в квантовой механике. Нет сомнения, что теория информации может быть применена для изучения определенной стороны физических процессов. Известный физик Д. Габор полагает даже, что теория информации вообще должна рассматриваться как ветвь физики. Это, конечно, преувеличение. Информация, как уже было сказано, в са-

мом общем смысле — это разнообразие материальных объектов. Но разнообразие изучается и физикой, и химией, и биологией, и вообще всей наукой. Поэтому теоретико-информационные методы могут быть применены в каждой науке. По-видимому, информационные свойства реальных систем, скажем физических и биологических, должны быть в чем-то тождественны, а в чем-то и различны. Применение теории информации в различных науках, как отмечал К. Шеннон, «не сводится к тривиальному переносу терминов из одной области науки в другую». Вполне возможно, что специфика информационных свойств физических процессов приведет к созданию особой прикладной физической теории информации. Но, как ранее говорилось, возможно и возникновение информационной физики — во всяком случае, везде, где применяются теоретико-вероятностные методы, могут применяться и теоретико-информационные. С развитием невероятностных подходов к определению количества информации перспективы применения этих методов все более расширяются и приводят к их использованию, например, в исследовании метрических и топологических свойств пространства и времени. Итак, физика и теория информации взаимно проникают друг в друга, что ведет, в общем, к созданию двух основных синтетических дисциплин — физической теории информации и информационной физики.

В какой-то мере аналогичный вывод оказывается справедливым и для других наук, например для химии. Ведь для химических реакций также действительны термодинамические законы, а значит, и здесь применимы теоретико-информационные методы. Причем применение этих методов выходит за рамки изучения тепловых эффектов химических реакций и преследует

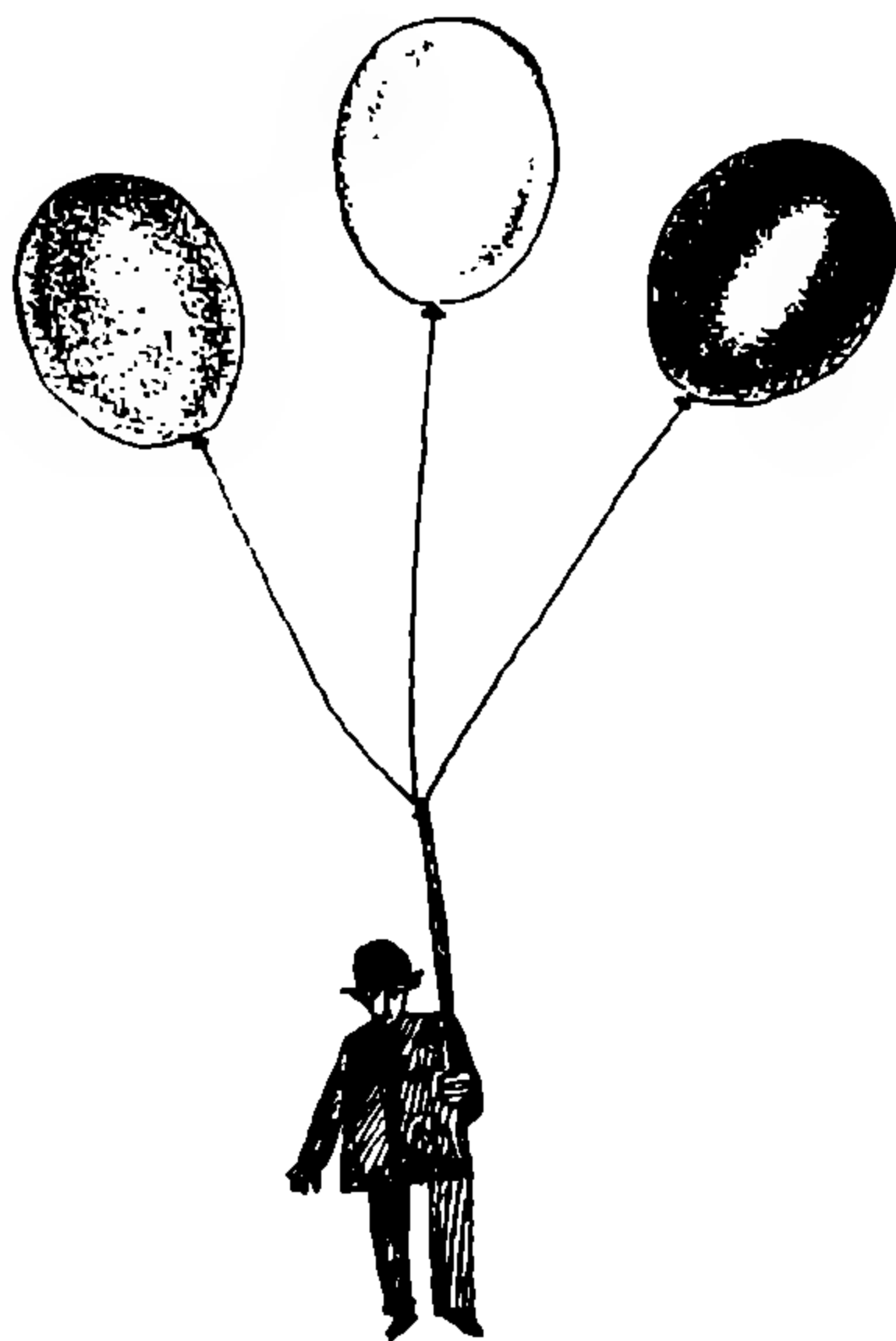


Рис. 8. Совокупность трех одинаковых, но различающихся по цвету шаров обладает разнообразием в три элемента (в отношении цвета)

цель более глубокого изучения других сторон химического разнообразия (в частности, явления изомерии, проявлений симметрии и асимметрии химических соединений, информационного содержания компонентов химических реакций, химической эволюции на Земле и т. д.).

Однако сейчас теоретико-информационные методы наиболее широко проникли в биологию. Если по приложению теории информации в физике и химии существует несколько десятков работ, то по применению концепции информации в биологии (генетике, теории эволюции, таксономии, экологии и др.) существует уже обширная литература, в том числе и монографическая.

Применение теории информации в биологии позволяет использовать количественные методы там, где ранее ограничивались лишь качественными, описательными методами. Это относится к изучению механизма наследственности, синтеза белка в клетке, индивидуального развития и филогенеза и т. п. Представляется, что методы теории информации уже сейчас содействуют сближению двух направлений в исследованиях по теоретической биологии — системно-структурного и эволюционного. Проведенные расчеты показали возможность определения степени организации биологических структур при помощи методов теории информации<sup>1</sup>. Живое вещество обладает колоссальными запасами информации. Так, примерный порядок информационного содержания одноклеточных организмов — бактерий, клеток животных — достигает около  $10^{12}$  битов на молекулярном уровне (по предварительным оценкам).

<sup>1</sup> «Природа», 1968, № 5, стр. 86.

А содержание информации в организме взрослого человека (как биологического объекта) составляет около  $10^{25}$  битов на молекулярном уровне. Изучение при помощи теоретико-информационных методов процессов возникновения и развития жизни на Земле позволяет установить закон накопления информации и наметить общую схему возникновения и развития биологических структур (рис. 12).

Даже из этого краткого обзора применения теории информации в физике, химии и биологии можно сделать вывод о вторжении теоретико-информационных методов в фундаментальные науки о неживой и живой природе.

## Теория информации и науки об обществе

Здесь мы не будем говорить о традиционной области применения теории информации — теории связи и других технических науках. Кратко остановимся лишь на использовании теории информации в некоторых гуманитарных науках.

Одно из первых применений теории информации — лингвистика. Связано это с тем, что речь чаще всего передается по линиям связи. Поэтому для теории передачи сообщений представляют интерес количественные информационные характеристики текстов (среднее количество информации, приходящееся на одну букву или слово текста, избыточность и т. д.)

Весьма перспективными являются исследования по применению теории информации в психологии. Изучаются пропускная способность информации нашими органами

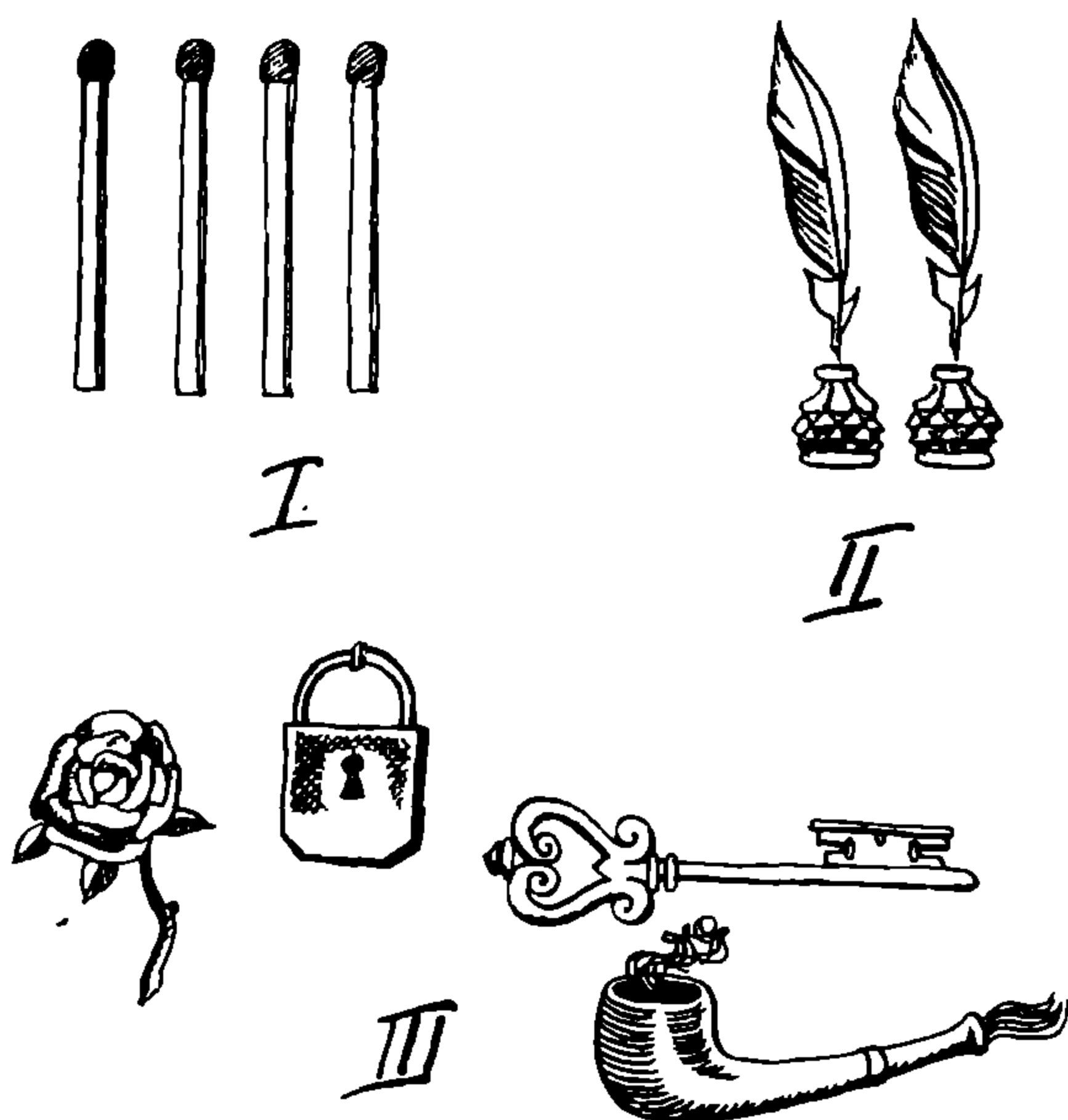


Рис. 9. К определению избыточности. Избыточность максимальна (равна единице) в множестве I, минимальна (равна нулю) в множестве III и равна половине в множестве II

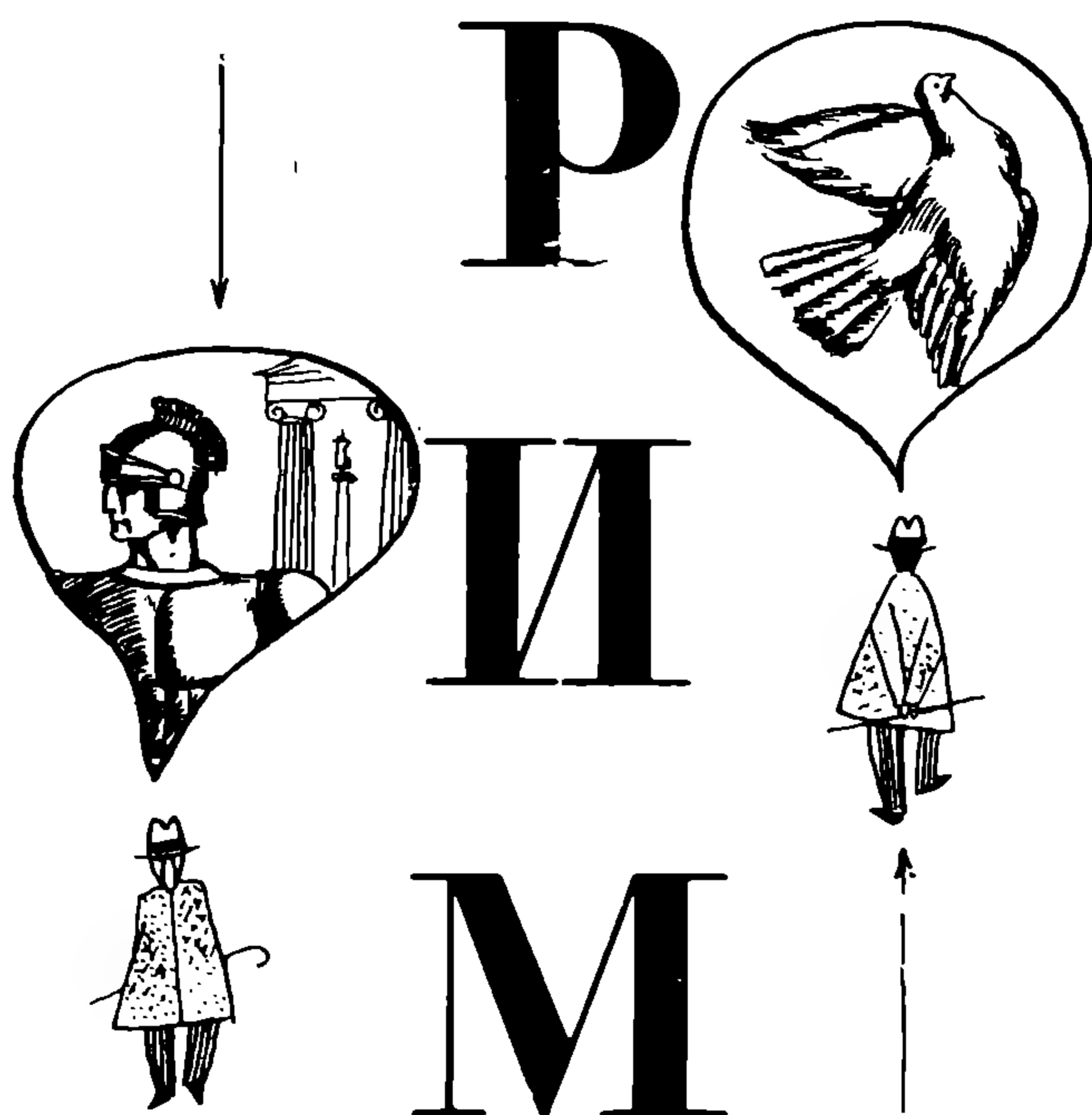


Рис. 10. Эти два слова содержат одинаковое количество информации (в своей структуре), но имеют разный смысл

Рис. 11. Современная система теорий, подходов и идей об информации



чувств (зрением, осязанием, слухом и др.), зависимость времени реакции человека от количества воспринимаемой информации, пропускная способность и принципы переработки информации мозгом, процессы восприятия образов, памяти и т. д. Существуют исследования и по применению теоретико-информационных методов к эстетическому восприятию (например, работы А. Моля), к взаимодействию человека и техники и к другим областям инженерной психологии. Причем исследования психологических информационных процессов обнаруживают их специфику, в частности их отличие от информационных процессов в природе и технике. Существует мнение, что в силу этой специфики будет создана «психологическая теория информации».

В последнее время весьма бурными темпами развивается так называемая теория научной информации (информатика). Научная информация — это информация, получаемая в процессе научного познания, отражающая в системе точных понятий закономерности и явления объективной реальности и позволяющая объяснять, предвидеть и преобразовывать течение материальных процессов. В предмет научной информации входит научно-информационная деятельность людей, сама научная информация и ее материальные носители (документы, книги, журналы и т. д.). Возникновение теории научной информации связано с бурным (экспоненциальным) количественным ростом научной информации, с общественным разделением труда, с необходимостью автоматизации некоторых областей научного труда.

Теоретико-информационные методы уже сейчас начинают внедряться в экономику, в частности содействуют решению планирования перевозок, оптимального управления предприятиями и т. д. Не исключено, что уже в ближайшее время методы теории информации могут быть использованы и в более широких масштабах — для изучения процессов общественной организации и управления.

Методы теории информации проникают и в другие общественные науки — юриспруденцию, педагогику, социологию и даже философию (например, в теорию развития, гносеологию, логику и т. д.). Все эти науки имеют дело с информацией, которая принимается, хранится, передается, перерабатывается и обнаруживает специфику, обусловленную особенностями упомянутых наук. Теоретико-информационные методы способствуют увеличению эффективности общественных наук; они ценны также тем, что позволяют использовать количественные методы там, где ранее они не применялись. Естественно, что это значительно содействует математизации, в частности общественных наук.

Итак, учение об информации, возникнув в силу потребностей теории связи и кибернетики, перешагнуло со временем их рамки и проникло во многие науки о неживой и живой природе, об обществе и познании. В настоящее время можно говорить о становлении нового общенаучного понятия — информации и нового общенаучного количественного метода исследования — теоретико-информационного.

УДК 519.92

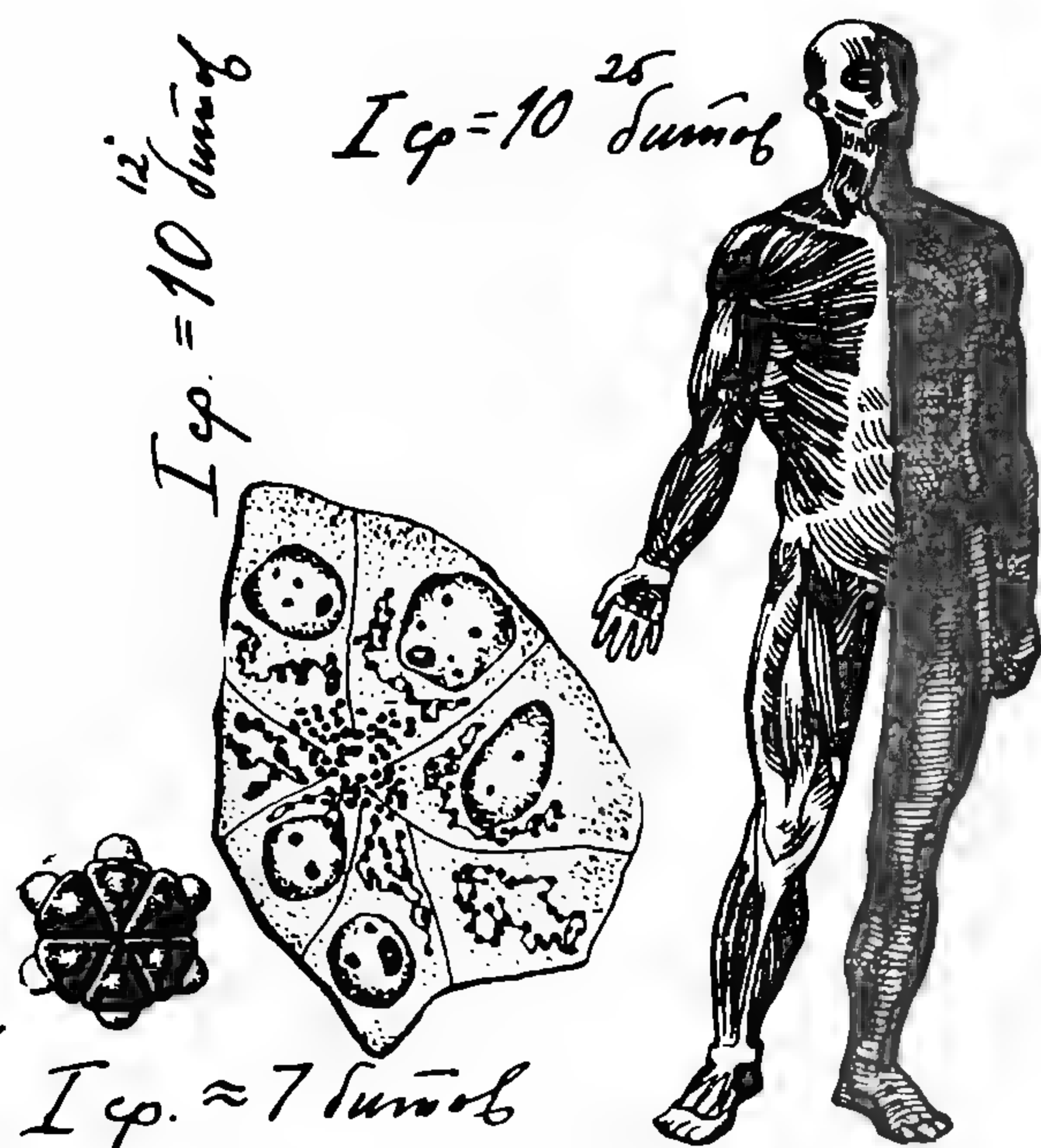


Рис. 12. Информационное содержание в битах на молекулярном уровне «средних» молекулы, клетки, организма человека (по С. М. Данкову и Г. Кастлеру)

# Световая искра — миниатюрный взрыв

Г. А. Аскарьян  
Кандидат физико-математических наук

Ю. П. Райзер  
Доктор физико-математических наук



Гурген Ашотович Аскарьян — старший научный сотрудник Физического института АН СССР им. П. Н. Лебедева. Основные работы посвящены самофокусировке электромагнитных и звуковых волн. Автор ряда работ по нелинейной оптике.



Юрий Петрович Райзер заведует отделом в Институте проблем механики АН СССР, один из ведущих специалистов по ударным волнам, автор капитальной монографии «Физика ударных волн» (написана совместно с академиком Я. Б. Зельдовичем), переведенной на многие языки мира.

Шла наладка лазера, дающего мощный, так называемый гигантский импульс света. На пути луча поставили линзу, включили лазер... и вдруг в фокусе линзы в воздухе возникла ослепительная вспышка и раздался сильный треск. Так в 1962 г. в США была открыта световая искра — пробой, или бурная лавинообразная ионизация газа в интенсивном световом поле. Это явление — яркий пример сильных изменений свойств вещества при прохождении через него световых потоков очень большой интенсивности. Воздух, совершенно прозрачный для света обычной интенсивности, становится непрозрачным при высоких напряженностях световых полей и поглощает большую часть энергии светового импульса. Быстрое выделение энергии лазерного импульса ( $\sim 1$  Дж) в малом объеме фокуса ( $\sim 10^{-5}$  см<sup>3</sup>) за малое время ( $\sim 30$  нсек<sup>1</sup>) делает световую искру похожей на миниатюрный взрыв. Световая искра представляет собой облачко плотной концентрированной плазмы, в которой очень быстро нарастают концентрация электронов и поглощение света. На рис. 1 показана фотография световой искры.

Исследования показали, что в газе происходит пробой и возникает световая искра только тогда, когда плотность потока излучения превышает некоторую пороговую величину. Порог для пробоя зависит от рода газа и давления (пороговая мощность уменьшается с увеличением давления газа). Так, в воздухе при нормальном давлении пороговая интенсивность составляет около  $10^5$  Мвт/см<sup>2</sup>, чему соответствует напряженность электрического поля в световой волне  $\sim 5 \cdot 10^6$  в/см. Такие условия можно создать путем фокусировки луча лазера мощностью примерно 10 Мвт при помощи обычной линзы с фокусным расстоянием в несколько сантиметров. Каков же механизм образования световой искры? Теория и опыт показывают, что под действием интенсивного светового излучения в газе развивается электронная лавина. Сначала образуются первые, затравочные электроны. Эти электроны вырываются из молекул или атомов лишь в результате одновременного поглощения нескольких световых квантов — многоквантового фотоэффекта. Дело в том, что потенциалы ионизации большинства атомов и молекул гораздо больше энергии лазерных световых квантов. Например, потенциал ионизации молекулы кислорода  $I_{O_2} = 12,1$  эв, а энергия кванта рубинового лазера составляет всего лишь 1,78 эв, так что для отрыва электрона от молекулы кислорода необходимо одновременное поглощение сразу семи квантов. Вероятность многоквантового фотоэффекта  $W$  мала при обычных интенсивностях, но сильно зависит от интенсивности излучения  $I$ : она пропорциональна интенсивности  $I$  в степени  $n$ , где  $n$  — число необходимых квантов. (Вероятность  $W \sim (AI)^n$ , где  $AI$  гораздо меньше единицы для используемой мощности лазеров.)

Поэтому многоквантовые процессы проявляются только при чрезвычайно больших интенсивностях света, притом тем легче, чем меньше число требуемых квантов. Ве-

<sup>1</sup> Наносекунда (нсек) — миллиардная доля секунды ( $10^{-9}$  сек).

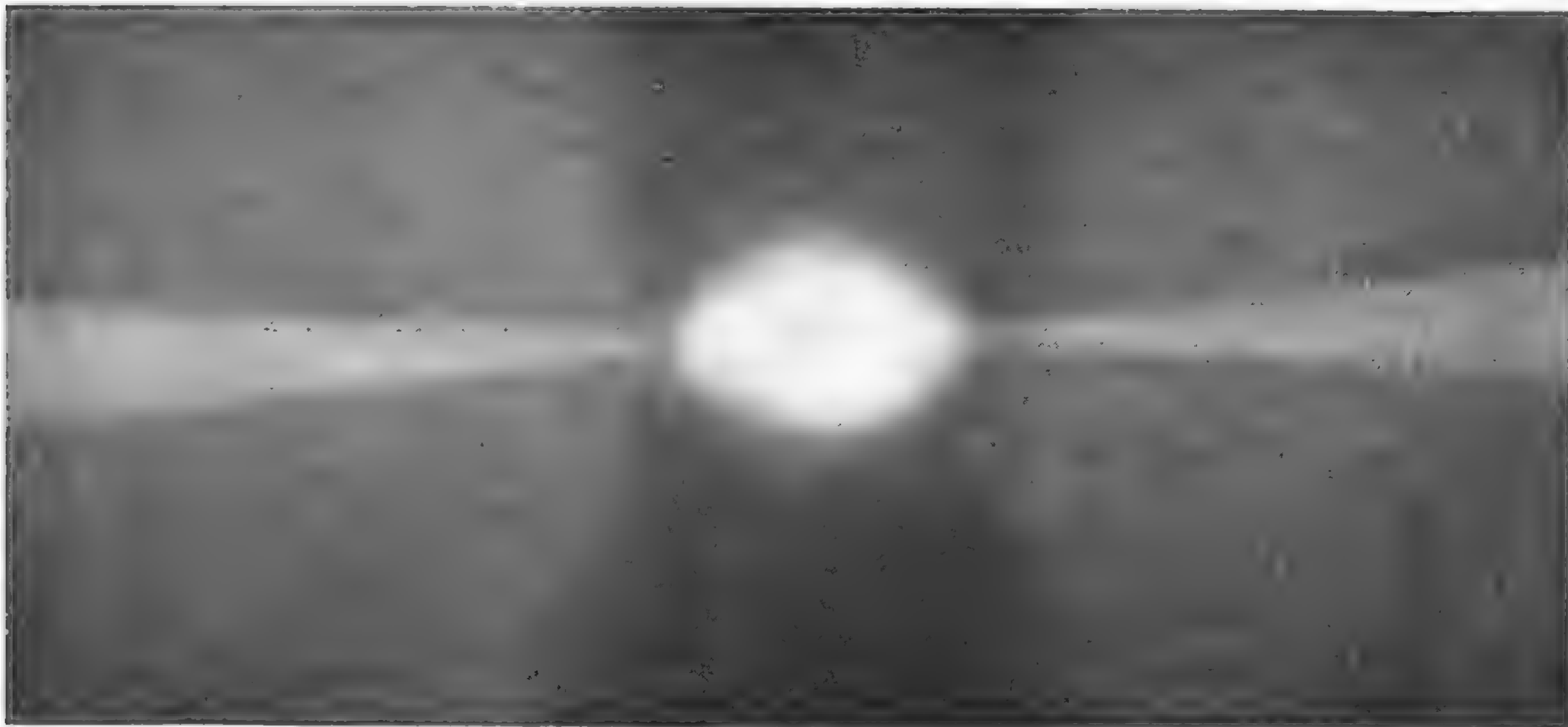


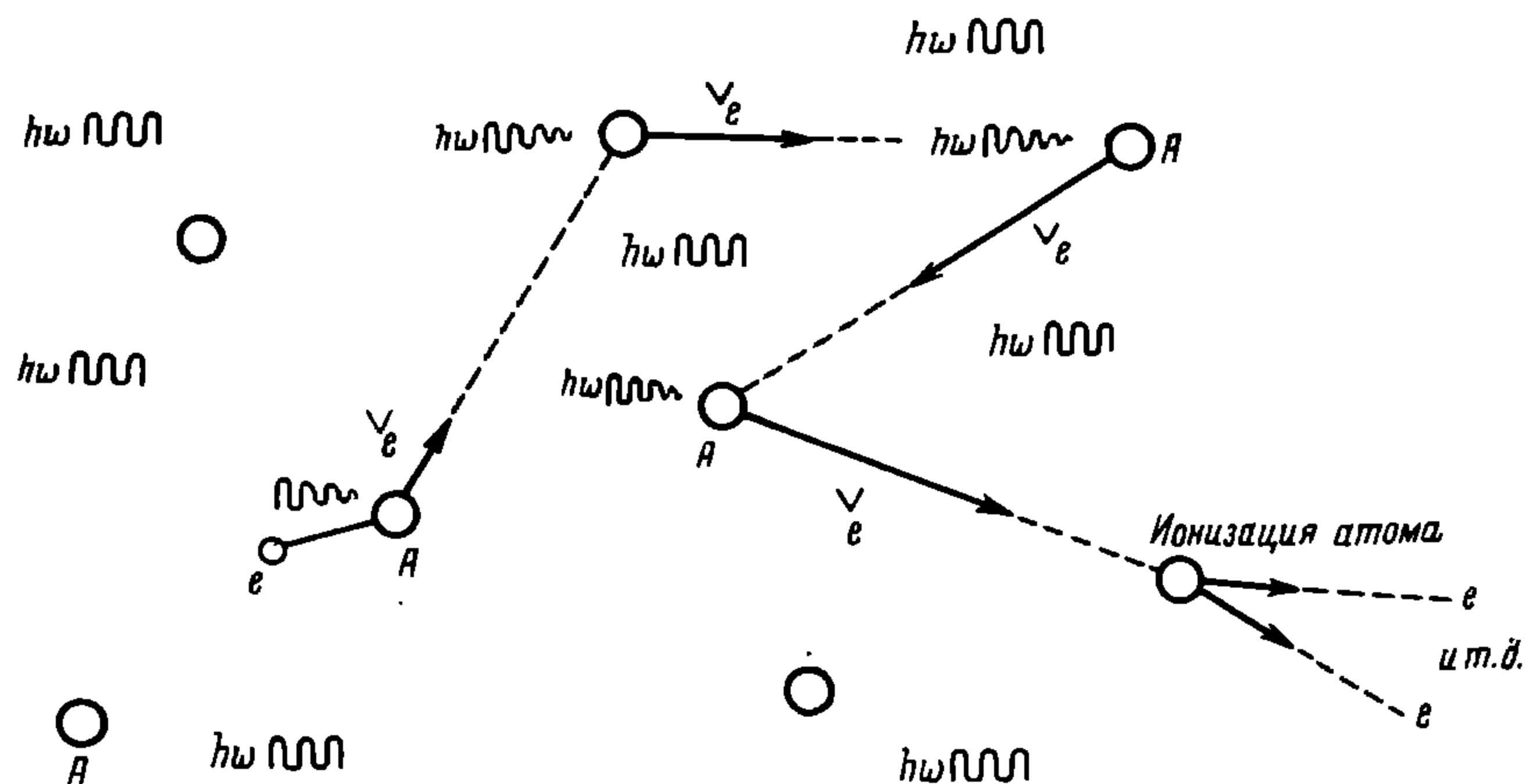
Рис. 1. Фотография световой искры. Фото Н. Суходрев и П. Пашина

роятнее всего, первые электроны появляются вследствие отрыва электронов от наиболее легко ионизируемых примесных молекул и атомов, а может быть, даже за счет вырывания электронов из микроскопических пылинок, присутствующих в недостаточно очищенном газе. Очень красивая квантовомеханическая теория вырывания электронов из атомов под действием электромагнитной волны создана Л. В. Келдышем. Он показал, что в предельном случае достаточно высоких частот вырывание электронов имеет характер многоквантового фотоэффекта, а при низких частотах процесс автоматически сводится к хорошо известному туннельному вырыванию электронов из атомов в постоянном электрическом поле.

Итак, вернемся к электронной лавине. Образовавшиеся в газе первичные электроны ускоряются под действием светового поля. Набрав энергию, достаточную для ионизации, они ионизуют при столкновениях молекулы (атомы), и в результате число электронов удваивается, причем каждый из электронов непосредственно после акта размножения обладает очень малой энергией. Затем электроны вновь набирают энергию, поглощая кванты при столкновениях, снова ионизуют молекулы, число электронов снова удваивается и т. д. (рис. 2). Иными словами, происходит лавинообразный процесс размножения электронов, и после  $K$  последовательных актов размножения (в  $K$ -м поколении) получается  $2^K$  электронов из каждого первичного электрона. Легко подсчитать, что для образования из одного затравочного электрона примерно  $10^{13}$  электронов, обычно регистрируемых на опыте при пороговых условиях, необходимо рождение 43 поколений.

Разумеется, само явление развития электронной лавины не ново: именно так, в принципе, происходит пробой газов в постоянном или высокочастотном поле, с которым физика газового разряда имеет дело уже давно. Новизна явления световой искры заключается в механизме ускорения электронов под действием излучения оптического диапазона, ибо до изобретения лазеров не приходилось даже мечтать о возможности наблюдения пробоя в электромагнитных полях столь высоких частот. Стоит подчеркнуть также, что при обычном пробое газов первичные электроны всегда создаются либо посторонним ионизирующим источником, либо появляются случайно за счет космических лучей. В световой искре первичные электроны создаются самим лазерным излучением.

Рассмотрим подробнее механизм ускорения электронов в лавине. Этот процесс, в отличие от ускорения электронов в поле СВЧ-излучения, имеет существенно квантовую природу (высокочастотный пробой газов наблюдается обычно на частотах  $\sim 10^9$  МГц, оптические же частоты — порядка  $10^{15}$  МГц). И хотя формулы квантовой теории ускорения электронов в поле оптических частот с хорошей точностью сводятся к формулам классической теории ускорения в переменном электромагнитном поле, это не меняет квантового характера явления. В самом деле, как представляется процесс ускорения электронов в переменном поле в рамках классической электродинамики, вполне применимой к случаю радиоволн СВЧ-диапазона? Свободный электрон под действием переменного электрического поля электромагнитной волны совершает колебательное движение, которое накладывается на его поступательное движение с



$e$  — электрон,  $A$  — атом,  $h\omega$  — квант света,  $h\omega$  — поглощенный квант света,  $v$  — скорость электрона. Величина скорости все более возрастает при поглощении квантов.

Рис. 2. Схема набора энергии электроном в световом поле и нарастания лавины ионизации в световой искре

тепловой скоростью. Согласно второму закону Ньютона,  $m dv/dt = eE$ , где  $m$  — масса электрона,  $v$  — скорость колебаний, а  $E = E_0 \sin \omega t$  — электрическое поле волны, так что средняя энергия колебаний электрона  $\epsilon_{\text{кол}} = \overline{mv^2}/2 = e^2 E^2 / 2m\omega^2$ . Свободные электроны не отбирают энергии от электромагнитного поля, за исключением постоянной малой величины  $\epsilon_{\text{кол}}$ , и, следовательно, не поглощают излучения. Поглощение энергии поля и ускорение электрона происходят при столкновениях его с атомами газа, когда скорость электрона резко меняет свое направление и кинетическая энергия колебательного движения по существу переходит в энергию хаотического поступательного движения, т. е. в тепло. Если за одну секунду электрон испытывает  $\nu_m$  столкновений с атомами (при атмосферном давлении  $\nu_m \sim 10^{12} - 10^{13}$  сек $^{-1}$ ), то за это время он отбирает от поля энергию, равную примерно  $\epsilon_{\text{кол}} \nu_m$ . Таким образом, скорость набора энергии электрона в поле равняется

$$d\epsilon/dt = e^2 E^2 \nu_m / m\omega^2 \quad (1).$$

(Множитель  $1/2$ , который присутствует в выражении для  $\epsilon_{\text{кол}} \nu_m$ , исчезает при более строгом рассмотрении набора энергии.) Следует отметить, что приведенная формула справедлива только в случае не слишком высоких давлений или не слишком низких частот, когда частота столкновений  $\nu_m$  гораздо меньше частоты поля  $\omega$ . Формула (1), определяющая скорость нарастания энергии в поле электромагнитной волны, является основным результатом классической теории, на которой базируется теория высокочастотного пробоя. Теперь легко определить время, необходимое для того, чтобы электрон достиг потенциала ионизации  $I$  и смог произвести размножение. Это время

$$\tau = Im\omega^2 / e^2 E^2 \nu_m \quad (2)$$

характеризует скорость развития лавины. Число электронов в лавине нарастает с течением времени примерно как  $2^k = 2^{t/\tau}$ , или как  $e^{t/\theta}$ , где постоянная времени лавины  $\theta = \tau / \ln 2$ .

Если подставить в формулу для  $\epsilon_{\text{кол}}$  типичные значения частоты  $\omega$  и напряженности электрического поля  $E$  для высокочастотного пробоя, то окажется, что энергия колебаний электрона  $\epsilon_{\text{кол}}$  гораздо больше кванта  $\hbar\omega$  — это и оправдывает возможность классического рассмотрения явления. Другое дело в случае светового пробоя: при пороговой напряженности поля световой волны  $E \approx 6 \cdot 10^6$  в/см и круговой частоте света рубинового лазера  $\omega = 2.7 \cdot 10^{15}$  рад/сек величина  $\epsilon_{\text{кол}}$  оказывается в 200 раз меньше, чем энергия кванта  $\hbar\omega$ . Но мы знаем, что энергия света не может поглощаться порциями, меньшими чем величина кванта. Таким образом, теперь уже нельзя полагать, как раньше, что в каждом акте столкновения электрон отбирает от световой волны энергию  $\epsilon_{\text{кол}}$ . Процесс следует представлять себе так, как будто электрон совершает в среднем 200 соударений, не меняя своей колебательной энергии и не ослабляя световой волны, а на 201-й раз сразу поглощает порцию энергии  $\hbar\omega = 200 \epsilon_{\text{кол}}$ . Короче говоря, мы имеем типично квантовую картину поглощения электроном энергии света.

Как и в классической теории, свободный электрон не может поглощать световые кванты и ускоряться. Это противоречило бы закону сохранения импульса системы электрон плюс поле. Действительно, приобретая энергию  $\Delta\epsilon = \hbar\omega$ , электрон приобретает дополнительный импульс порядка  $\Delta\epsilon/v = \hbar\omega/v$  (где  $v$  — скорость электрона), поле же теряет гораздо меньший импульс  $\hbar\omega/c$  ( $v \ll c$ ). Поглощение кванта оказывается возможным только при столкновении электрона с атомом, когда атом берет на себя импульс отдачи  $\sim \hbar\omega/v$ , отскакивая в противоположном электрону направлении (поскольку атом гораздо тяжелее электрона, энергию он приобретает при этом ничтожную). Этот процесс поглощения светового кванта при столкновении электрона с атомом является обратным по отношению к тормозному излучению электрона при рассеянии на атоме и иногда называется «тормозным поглощением».

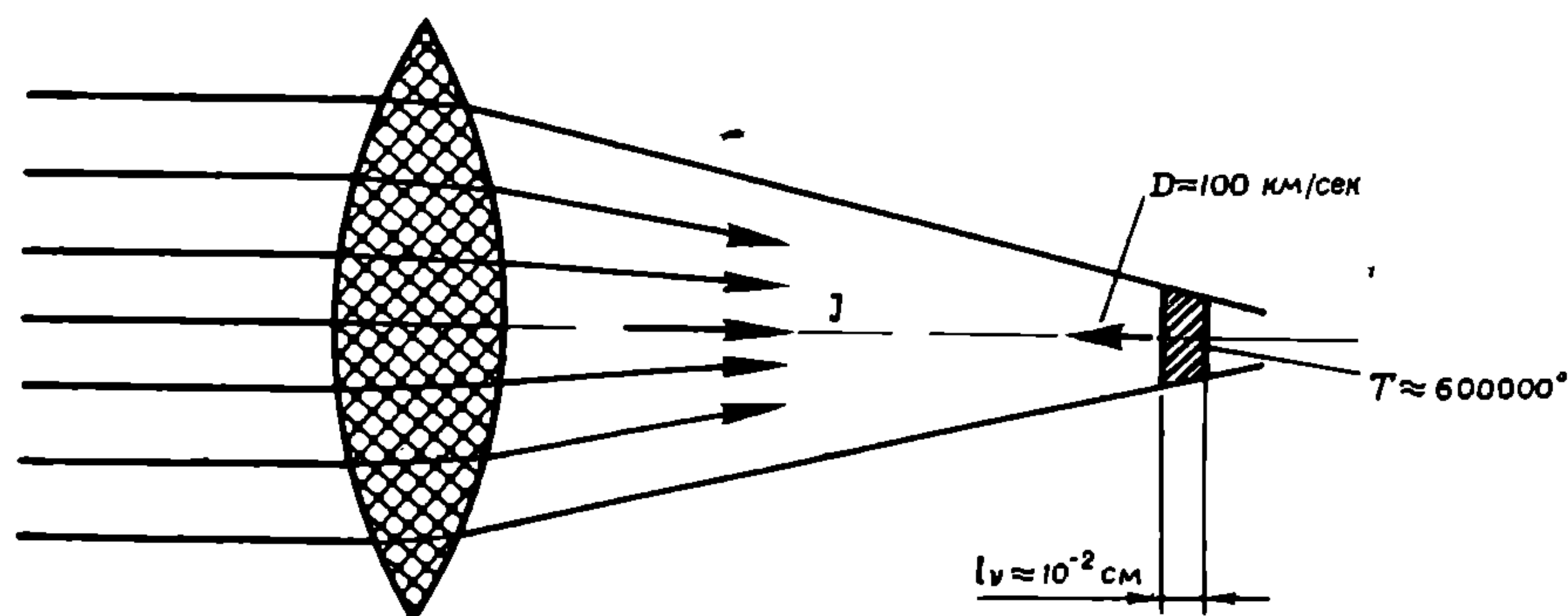


Рис. 3. Схема, иллюстрирующая движение плазменного фронта

Итак, электроны поглощают кванты при столкновениях, но наряду с этим иногда под действием лазерного излучения происходят и процессы вынужденного испускания таких же точно квантов. Иными словами, энергия электрона изменяется скачками (равными  $\hbar\omega$ ) не только в одном направлении — в направлении возрастания энергии, а то в одном, то в другом направлениях, причем каждый из скачков происходит случайно. Такой процесс напоминает диффузию газовых частиц от стенки в полуограниченном пространстве, при этом роль «стенки» играет нулевая энергия. Частицы, начинающие свой путь от стенки, хотя зачастую и «топчутся» на месте, в среднем все же удаляются от стенки. Так и электроны: несмотря на почти одинаковую вероятность поглощения и вынужденного испускания квантов, в среднем они все же набирают энергию. Можно показать, что изменение энергии электрона в квантовой теории в некотором приближении описывается уравнением, в точности аналогичным уравнению диффузии частицы в газе вдоль одной пространственной координаты, только здесь роль координаты играет энергия. Оказывается, что в этом «диффузионном» приближении формула для средней скорости нарастания энергии электронов по существу сводится к классической формуле (1), выведенной выше. Условием справедливости классической формулы является условие малости энергии кванта  $\hbar\omega$  не по сравнению с энергией осцилляций электрона в поле, а по сравнению с интересующими нас кинетическими энергиями электронов, близкими к потенциалу ионизации атомов. Это условие вполне аналогично условию справедливости диффузионной теории случайного движения частицы в газе — условию малости длины пробега частицы (длины «скачка») по сравнению со всем проходным расстоянием частицей.

Если подставить в формулу (2) типичные численные значения всех величин, получим, что  $\tau \sim 10^{-10} - 10^{-9}$  сек, т. е. за время лазерного импульса  $t \approx 30$  нсек  $= 3 \cdot 10^{-8}$  сек успевает родиться очень много поколений электронов, как это и происходит в действительности. Теперь становится понятным, почему порог для пробоя выражен столь резко. Если, например, при пороговой интенсивности постоянная времени развития лавины такова, что за время импульса рождается, скажем, 40 по-

колений, то при уменьшении интенсивности в 2 раза постоянная увеличивается примерно вдвое и вместо 40 поколений родится только 20, т. е. число электронов будет в  $2^{20} = 10^6$  раз меньше и при этом уже не будет видимого эффекта пробоя.

Изложенные выше простые соображения о механизме развития лавины намечают лишь основную схему процесса, который на самом деле протекает значительно сложнее. В частности, существенную роль могут играть неупругие столкновения электрона, сопровождающиеся возбуждением атомов. Электрон при этом теряет почти всю накопленную энергию и должен начать весь «путь» сначала. Поэтому в некоторых условиях процессы возбуждения играют вредную роль и тормозят развитие лавины. При очень больших интенсивностях света электроны могут отрываться от возбужденных атомов под действием излучения в результате одновременного или последовательного поглощения одного или нескольких квантов. В этом случае процессы возбуждения не только не тормозят, но даже несколько способствуют развитию лавины, так как для того чтобы произошло размножение, электрону достаточно набрать энергию возбуждения, которая несколько меньше, чем энергия ионизации.

В экспериментальных исследованиях световой искры при интенсивностях, заметно превышающих пороговые для пробоя величины, обнаружены новые, очень интересные явления. Эти исследования были проведены канадскими учеными С. Рамсденом и В. Дэвисом, а в Советском Союзе — в Физическом институте АН СССР, в лабораториях акад. А. М. Прохорова и проф. С. Л. Мандельштама. Оказалось, что после первичного пробоя, который при достаточно больших мощностях лазеров возникает еще в начале импульса, светящийся плазменный фронт искры движется по направлению к линзе, навстречу лазерному лучу (рис. 3). Движение плазменного фронта, которое происходит в стадии интенсивного излучения со скоростью порядка 100 км/сек, было зарегистрировано путем высокоскоростной фотографической съемки процесса, а также по доплеровскому смещению лазерной линии, рассеянной движущимся фронтом под углом  $90^\circ$ . Советскими учеными была

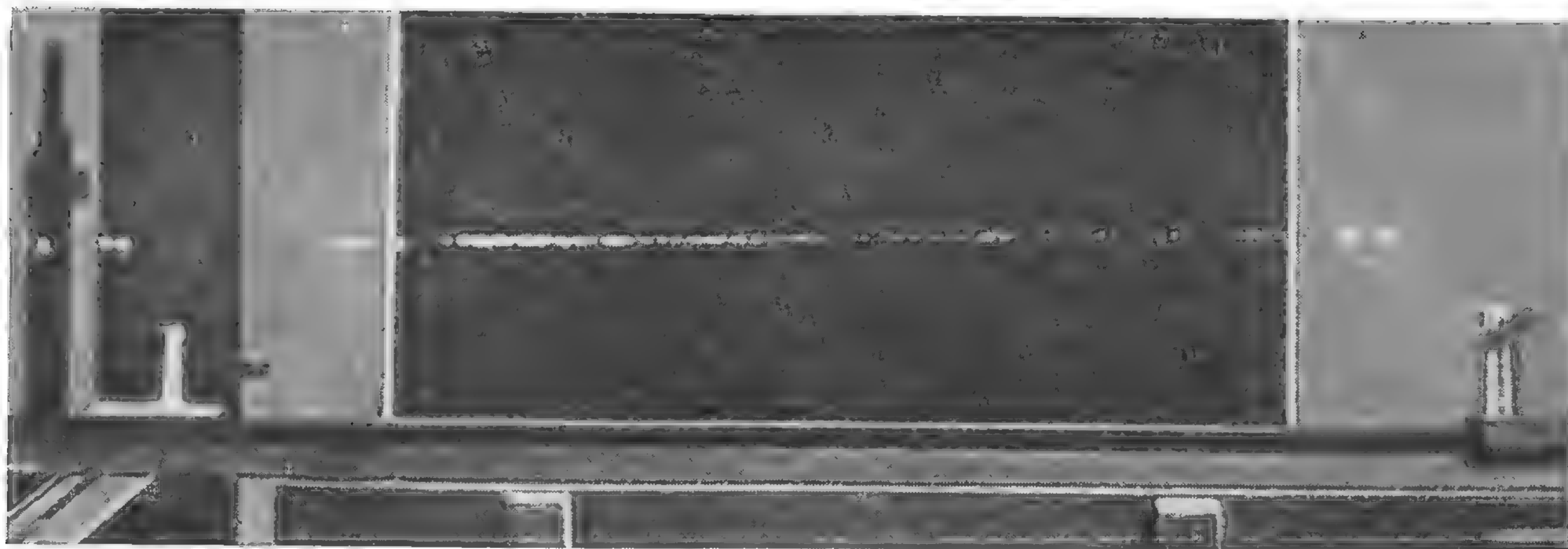


Рис. 4. Фотография «длинной» искры. Фото Г. В. Склизкова

кроме того, измерена и температура плазмы в стадии лазерного импульса. Измерения были сделаны путем регистрации интенсивности рентгеновского излучения, испускаемого плазмой. Оказалось, что температура плазмы во время лазерного импульса достигает почти миллиона градусов. И это при начальной плотности атмосферного воздуха! Пожалуй, с помощью световой искры впервые в лабораторных условиях удалось получить столь высоко нагретую плотную плазму. (Напомним, что миллионы градусов, достигнутые в опытах, проводимых по термоядерной программе, были получены только в чрезвычайно разреженной плазме.)

В чем же причина движения плазменного фронта навстречу лучу? Дело в том, что когда в очень малом объеме фокуса поглощается довольно значительная энергия излучения, в газе развиваются очень высокие температуры и давления. От места выделения энергии, как и при взрыве, распространяется сильная ударная волна. Во всех направлениях, кроме направления навстречу лучу, ударная волна постепенно ослабляется. Но двигаясь в области светового канала к линзе, она не ослабляется, поддерживаясь за счет поглощения световой энергии. В самом деле, в сильной ударной волне газ нагревается, ионизируется и становится непрозрачным для лазерного луча. Луч поглощается в тонком слое за фронтом ударной волны, а выделяющаяся в газе энергия в свою очередь способствует продвижению волны. Возникает нечто вроде волны поглощения света и нагрева газа, которая во многих отношениях сходна с волной детонации, распространяющейся по взрывчатому веществу. Ведь в детонационной волне ударная волна нагревает горючую смесь до температуры воспламенения, при которой происходит быстрое сгорание смеси, а выделяющееся тепло в свою очередь способствует поддержанию сильной ударной волны. Как видим, аналогия очень тесная, только в случае «световой» детонации роль химической энергии горючей смеси выполняет поглощающаяся энергия лазерного луча. Впервые мысль об аналогии с детонацией

была высказана в Канаде С. Рамсденом и П. Савичем, а подробная гидродинамическая теория волны поглощения света была разработана Ю. Райзером. Результатом этой теории явилось вычисление температуры плазмы (и скорости фронта), которые хорошо совпали с измерениями С. Л. Мандельштама, А. А. Прохорова и их сотрудников.

При очень больших интенсивностях светового излучения ударную волну обгоняет «волна пробоя». Особенно четко этот эффект проявляется в случае фокусировки лазерного луча линзой с большим фокусным расстоянием. При этом световой конус сходится к фокусу под очень малым углом и пробой с небольшими задержками последовательно вспыхивает в местах канала со все большим сечением, где интенсивность была меньше, но затем стала достаточной для быстрого развития лавины. Такое явление наблюдалось и в лаборатории акад. Н. Г. Басова. В этой же лаборатории была получена очень эффектная «длинная» искра, которая возникает от гигантского импульса лазера с мощностью более  $1 \text{ Гвт} = 1000 \text{ Мвт}$ , если немного подфокусировать луч длиннофокусной линзой (рис. 4). В «длинной» искре светящиеся плазменные очаги вспыхивают в световом канале и перед и за фокусом на длине в несколько метров! Конечно, концентрация энергии в газе в этом случае значительно меньше, чем при фокусировке луча короткофокусной линзой, когда почти вся энергия лазерного импульса выделяется в весьма малом объеме газа.

Рассмотрим более подробно случай больших концентраций выделения энергии при фокусировке короткофокусной линзой. После окончания импульса в газе остается небольшое вытянутое в направлении луча плазменное облачко с очень высокой температурой порядка десятков и сотни тысяч градусов. По отношению к последующей стадии облачко играет роль центра взрыва; от этого места во все стороны распространяется ударная волна, которая с течением времени приобре-

тает форму, близкую к сферической (когда волна уходит на расстояния, большие по сравнению с размерами начального облачка). Расширяющаяся плазма ярко светится, образуя «огненный» шар, который является миниатюрной копией огненного шара атомного взрыва — начальные температуры в световой искре не намного меньше начальных температур огненного шара в воздухе при атомном взрыве. Постепенно ударная (взрывная) волна вырождается в акустическую, свечение огненного шара так же затухает, как и при взрыве.

Интереснейшее явление световой искры привлекло к себе внимание многих физиков и за рубежом, и в СССР<sup>1</sup>.

В частности, в плазменной лаборатории ФИАНа, руководимой проф. М. С. Рабиновичем, группой сотрудников во главе с одним из авторов световая искра была подвергнута исследованию современными способами диагностики плазмы по ее диамагнетизму и взаимодействию с СВЧ-излучением. С помощью специальных внешних магнитных полей и СВЧ-волн в области фокуса лазера и по их возмущению при появлении световой искры была исследована плазма световой искры. При этом обнаружилось следующие характерные явления. Было установлено существование вокруг искры ореола ионизации, возникающего за очень короткие времена, порядка нескольких наносекунд, и охватывающего объем с размерами в несколько сантиметров. За эти времена ударная волна практически не успевает отойти от точки фокуса; ионизация воздуха в ореоле создается ионизирующим излучением — ультрафиолетовыми и рентгеновскими квантами. Очень быстрое возникновение и большие размеры ореола ионизации делают возможным его использование для модуляции и переключения потока СВЧ-излучения.

Было обнаружено, что плазма, остающаяся после световой искры, живет очень долго (до сотен микросекунд) и долго возмущает внешнее магнитное поле (в течение десятков микросекунд), что в сотни и тысячи раз превосходит длительность лазерного импульса. Различие во времени жизни плазмы и диамагнитного возмущения связано с тем, что для существования диамагнетизма необходимо, чтобы плазма расширялась, так как только в этом случае возникают индукционные токи, создающие изменения магнитного поля. Было детально исследовано изменение диамагнитного момента во времени, которое сопоставлялось с расширением облака концентрированной плазмы, оставляемой ударной волной в тот период, когда ее температура и ионизирующая способность еще достаточно высоки.

Интересно, что длительность существования диамагнитного возмущения в случае световой искры зависит

от энерговклада так же, как и длительность существования огненного шара при взрыве больших масштабов. В теории эта длительность определяется соотношением подобия<sup>1</sup>  $t \sim E^{1/3}$ , где  $E$  — энергия взрыва. И это получается, несмотря на колоссальное различие в энергиях: в световой искре  $E \approx 1 \text{ дж} = 10^7 \text{ эрг}$ , а при атомном взрыве с тротильным эквивалентом 20 000 т  $E \approx 10^{21} \text{ эрг}$ .

Аналогия между световой искрой и атомным взрывом оказалась весьма плодотворной и позволила объяснить многие наблюдавшиеся в световой искре явления. Кстати, и появление быстровозникающего ореола ионизации искры в значительной мере напоминает создание ореола ионизации при атомном взрыве гамма-квантами, которые ионизуют воздух на расстояниях в сотни метров от места взрыва.

Большое время жизни плазмы световой искры представляет интерес в связи с возможностями дополнительного вклада энергии в искру от других источников (другие лазеры, СВЧ-устройства и т. п.), а также в связи с использованием следов световых искр в качестве антенн, направляющих систем и отражателей радиоволн.

Световая искра имеет широкие перспективы научного и практического использования. Основные ее преимущества заключаются в возможности получения в ней стерильной, высоконагретой, концентрированной плазмы. Световая искра может быть использована в плазменной физике — как источник плазмы, в химии — для стерильного инициирования различных реакций, в технике — как средство микрозакалки, штамповки, для получения алмазов и т. п., в спектроскопии — как способ получения спектров многократно ионизованных ионов, рентгеновского излучения при высоких температурах и т. п. Световая искра может быть применена для моделирования ряда геофизических процессов, для изучения процессов, протекающих при очень высоких температурах и т. д.

Лазерная искра в воздухе — не только красивое, эффектное и интересное с физической точки зрения явление. Есть все основания надеяться, что она окажется практически полезной для самых различных целей.

УДК 621.375.9

<sup>1</sup> «Природа», 1967, № 10, стр. 17—28.

<sup>1</sup> Читателей, заинтересовавшихся этим явлением, мы отсылаем к обзорной статье Ю. П. Райзера, УФН, т. 87, 1965, № 1, где можно найти и ссылки на оригинальные работы. С новейшими зарубежными работами по световой искре можно познакомиться в сборнике переводов «Взаимодействие лазерного излучения с веществом», который выходит в издательстве «Мир» в 1968 г.

# Генетическая транскрипция

Г. П. Георгиев  
Доктор биологических наук



Георгий Павлович Георгиев заведует лабораторией биохимии вирусов и клеток Института молекулярной биологии АН СССР. Основные его труды посвящены исследованию информационной РНК в животных клетках и разработке методов ее получения, а также выяснению роли ядерных структур в синтезе разных типов РНК. Г. П. Георгиевым раскрыта структурная организация ядерных комплексов, содержащих информационную РНК. В настоящее время он работает над изучением механизмов регуляции транскрипции в животных клетках и механизмов транспорта информационной РНК.

Известно, что передача по наследству признаков от родителей к потомкам зависит от присутствия в хромосомах клеток специальных образований — генов, которые химически представляют собой дезоксирибонуклеиновую кислоту (ДНК). В молекулах ДНК хранится вся информация, определяющая структуру белков клетки, т. е. в конечном счете все признаки организма. Передача этой наследственной информации осуществляется благодаря удвоению, или редупликации, молекулы ДНК (рис. 1).

Однако в образовании белков ДНК непосредственно не участвует. Более того, синтез белка происходит в основном в цитоплазме и, таким образом, пространственно отделен от ДНК. Он протекает в особых гранулах клетки — рибосомах. Эти своеобразные «фабрики» для создания белковых цепей содержат рибосомную рибонуклеиновую кислоту (рРНК) и набор различных белков. В процессе синтеза белка участвуют также транспортные рибонуклеиновые кислоты (тРНК), служащие переносчиками аминокислот к рибосомам, и информационные матричные рибонуклеиновые кислоты (мРНК).

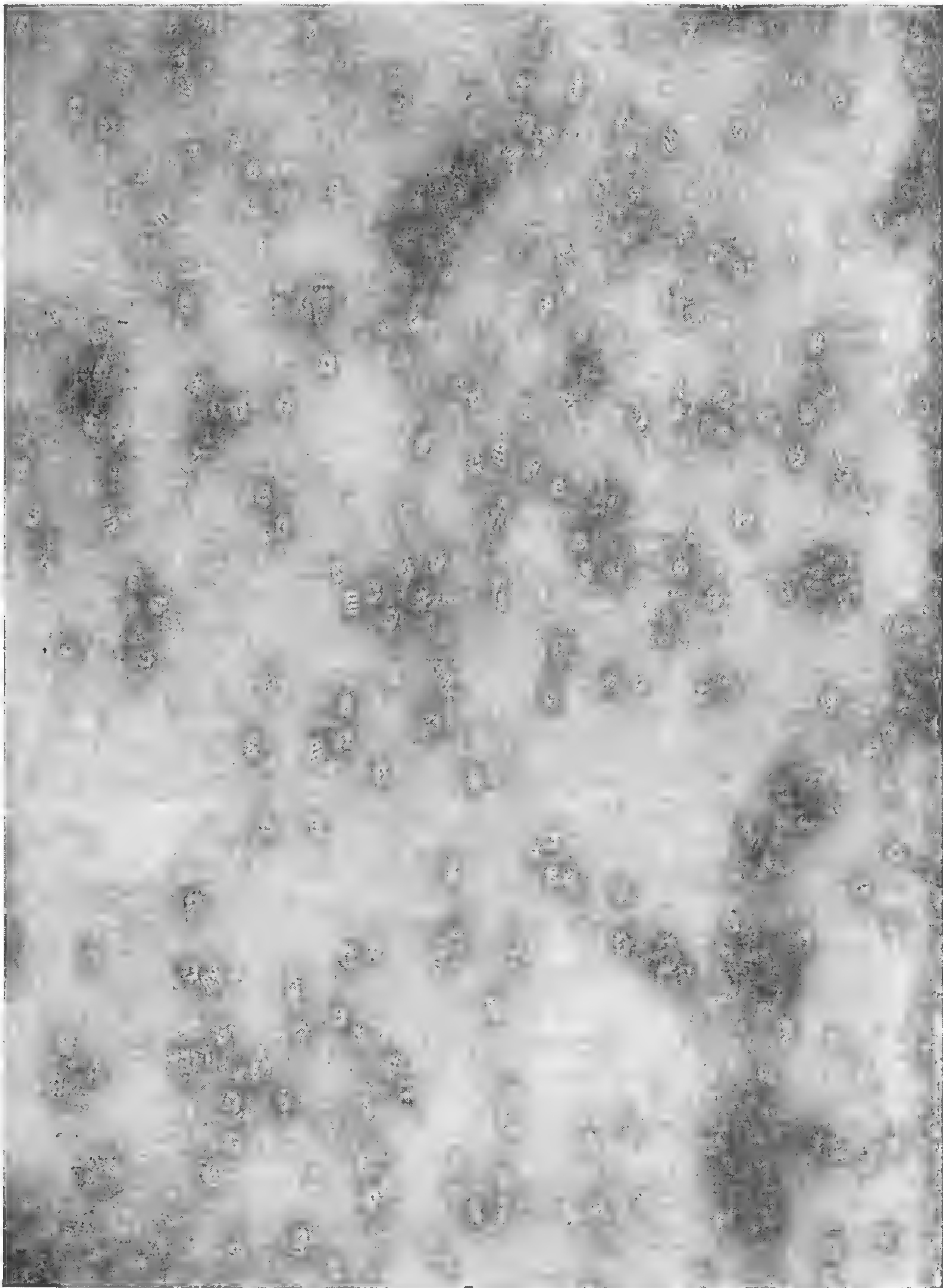
Все рибосомы одинаковы, и в каждой из них может синтезироваться любой белок. Транспортные РНК специфичны для определенных аминокислот, но они также обслуживают синтез любого белка. Специфичность белка определяет только информационная РНК. Тот процесс, в результате которого осуществляется переход от последовательности нуклеотидов в молекуле информационной РНК к последовательности аминокислот в молекуле белка, называется трансляцией (от английского «translation» — перевод).

Почему же мРНК при синтезе белков обуславливает именно тот порядок аминокислот, который заложен в молекуле ДНК? Согласно экспериментальным данным, это объясняется тем, что рибонуклеиновые кислоты, вовлеченные в синтез белка (мРНК, рРНК и тРНК), сами образуются с помощью ДНК.

Синтез информационных РНК при участии ДНК обозначается термином «транскрипция» (от английского «transcription» — переписывание). В процессе транскрипции происходит как бы переписывание генетического послания в форме, с которой затем может быть осуществлен его «перевод» на «язык аминокислот». В этой статье мы и рассмотрим, каким путем осуществляется транскрипция — первый этап реализации генетической информации в клетке.

---

Молекулы РНК-полимеразы, контрастированные уранил-ацетатом. Увеличение почти в 300 000 раз. Микрофотографии получены в лаборатории структуры белка Института кристаллографии АН СССР



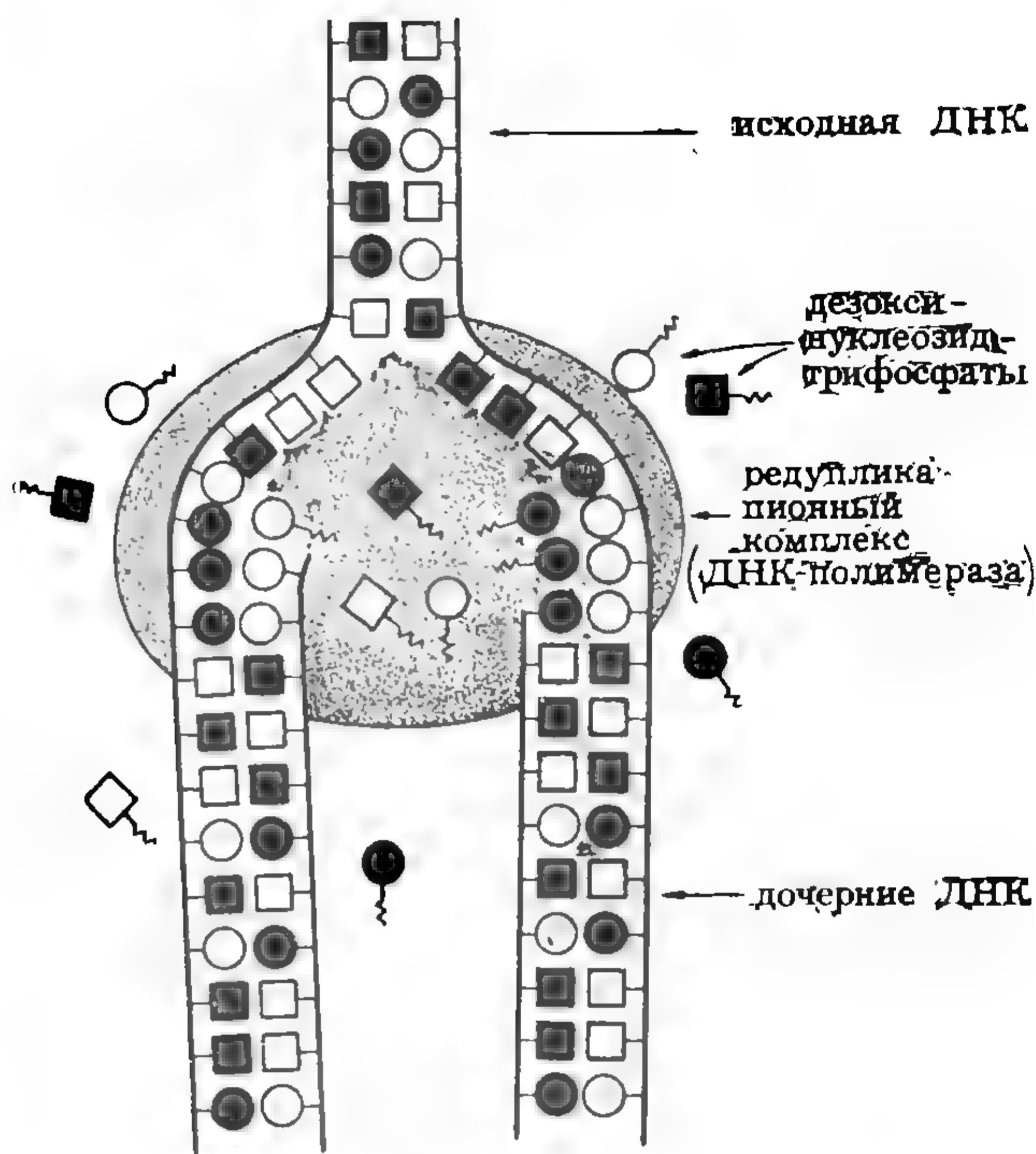


Рис. 1. Схема процесса удвоения, или редупликации, ДНК, в результате которого происходит передача наследственной информации. Под влиянием неизвестных пока что факторов начинается раскручивание двойной спирали ДНК. Затем каждая из этих цепей становится матрицей, шаблоном, на котором при помощи фермента ДНК-синтетазы строятся новые комплементарные цепи ДНК. Вместо одной двухэтажной молекулы ДНК образуются две двухэтажные молекулы, идентичные исходной. Затем две молекулы при делении материнской клетки расходятся в две дочерние клетки, чем и обуславливается преемственность генетического материала, а следовательно, и наследственная передача признаков от клетки к клетке и от организма к организму

## Как «переписывается» генетическая информация?

Синтез всех РНК происходит при участии РНК-полимеразы — особого биологического катализатора, или фермента (рис. 2). РНК-полимераза присутствует в клетках почти всех живых организмов: бактерий, растений и животных. Большая часть исследований выполнена на ферменте, выделенном из бактериальных клеток. Разработана довольно сложная, состоящая из пяти или шести этапов, система выделения РНК-полимеразы из разрушенных клеток бактерий. В результате из 100 г бактерий удается выделить несколько миллиграммов препарата, в котором около 90% составляет чистая РНК-полимераза. В электронном микроскопе хорошо видны молекулы фермента с характерной формой шестигранников и каналом посередине. Как и все ферменты, РНК-полимераза — это белок.

Однако в отличие от большинства других ферментов РНК-полимераза сама по себе не способна синтезировать РНК. Чтобы синтез оказался возможен, необходимо присутствие в среде дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Естественно, возник вопрос: какую роль здесь выполняет ДНК?

Изучение влияния ДНК разных организмов на свойства синтезируемой РНК показало, что нуклеотидный состав образующейся РНК (т. е. соотношение адениловой, гуаниловой, цитидиловой и уридиловой кислот) в полимерном продукте соответствует нуклеотидному составу ДНК (с заменой уридиловой кислоты на тимидиловую).

Как известно, ДНК из различных организмов по своему составу резко отличаются друг от друга. Так называемый коэффициент специфичности, т. е. отношение суммы дезоксигуаниловой и дезоксицитидиловой кислот к сумме дезоксиадениловой и тимидиловой, которое обозначается как  $k = \frac{G+C}{A+T}$ , колеблется от 0,5 до 2. Если в пробирку, где проводится синтез РНК, добавить ДНК с коэффициентом специфичности 0,5, то в каком бы соотношении ни присутствовали субстраты реакции — нуклеозидтрифосфаты, коэффициент специфичности продукта — РНК, т. е.  $\frac{G+C}{A+U}$  (U — уридиловая кислота), будет всегда равен 0,5. Если же берется ДНК с  $k=2$ , то синтезируется РНК тоже с  $k=2$ , опять-таки независимо от того, в каком соотношении в среде присутствуют строительные блоки А, Г, Ц и У.

Отсюда было сделано заключение, что ДНК в этой реакции выступает в роли матрицы, строение которой полностью и однозначно определяет строение продукта реакции. Таким образом, эта реакция относится к классу матричных синтезов: она требует не только катализатора (фермента), но и матрицы, несущей информацию относительно состава продукта реакции.

Матричный характер реакции, предсказанный Н. К. Кольцовым еще в 1927 г., четверть века спустя был подтвержден многими исследованиями, причем было доказано, что синтез носит комплементарный характер. Это означает, что каждому основанию в цепи матрицы соответствует комплементарное основание в цепи продукта: аденин — тимину; урацил — аде-

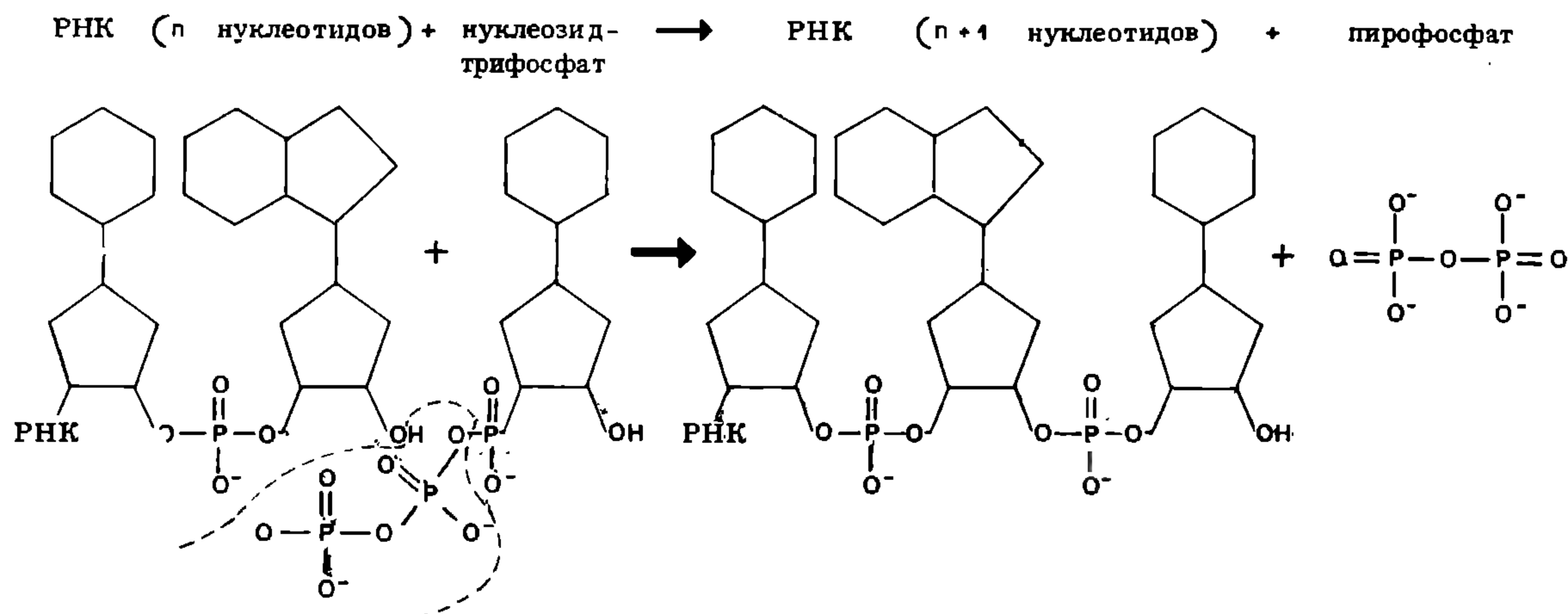


Рис. 2. Реакция синтеза РНК из строительных блоков нуклеозидтрифосфатов протекает таким образом. От нуклеозидтрифосфата отщепляется два остатка фосфорной кислоты (пирофосфат) и образующийся блок — нуклеозидмонофосфат — присоединяется к растущей цепи РНК. В этот повторяющийся цикл вовлекаются все новые нуклеозидтрифосфаты, и цепь РНК продолжает удлиняться. Как мы знаем, в состав РНК входят четыре разных нуклеотида (нуклеозидмонофосфата):

адениловая, гуаниловая, цитидиловая и уридиловая кислоты. Для синтеза РНК необходимо, очевидно, присутствие четырех соответствующих нуклеозидтрифосфатов: аденозин-трифосфата (АТФ), гуанозин-трифосфата (ГТФ), цитидин-трифосфата (ЦТФ) и уридин-трифосфата (УТФ). Кроме того, для реакции необходимо присутствие ионов магния.

На схеме показано присоединение очередного нуклеотидного остатка к строящейся цепи РНК

нину; гуанин — цитозину и цитозин — гуанину. Комплементарными называются такие основания, которые структурно как бы подогины друг к другу. Благодаря этому между ними возникают специфические взаимодействия, которых не может быть у некомплементарных оснований. Поскольку каждая цепь ДНК содержит много комплементарных оснований, взаимодействие цепей становится сильным и структура ДНК устойчивой.

Опишем один из наиболее ярких опытов, демонстрирующих эту комплементарность (рис. 3). Как известно, нормальная, нативная, ДНК в подавляющем большинстве клеток представлена двухспиральной структурой, причем две ее цепи комплементарны друг другу и именно поэтому удерживаются вместе. Однако при нагревании раствора ДНК до определенной температуры связи между комплементарными основаниями разрываются и цепи ДНК раскручиваются — происходит денатурация ДНК. Если затем раствор денатурированной ДНК очень медленно охлаждать, то значительная часть двухспиральных тяжей восстанавливается, так как комплементарные цепи ДНК успевают найти друг друга и образовать исходные структуры, при низких температурах энергетически более выгодные. Происходит так называемая ренатурация ДНК. Если же раствор денатурированной ДНК охладить быстро, то комплементарные пары не успевают образоваться и каждая из цепей скручивается в клубок. В этом состоянии взаимодействие комплементарных оснований двух цепей исключается и ДНК остается денатурированной.

Если ДНК снова нагреть и выдерживать при температуре несколько ниже критической, то клубки расплавляются и может произойти восстановление двухтяжевых цепей, т. е. ренатурация.

Оказалось далее, что двухтяжевые структуры образуются не только из двух цепей ДНК, но и из ДНК и РНК, когда они комплементарны. Так, если денатурированную ДНК смешать с комплементарной ей РНК и прогреть при субкритической температуре (провести так называемый отжиг), то возникают двухтяжевые структуры двух типов: нативная двухтяжевая ДНК и двойная спираль, содержащая одну цепь ДНК и одну цепь РНК. Структуры последнего типа называют «молекулярными гибридами» ДНК и РНК, а реакцию их образования — «молекулярной гибридизацией». Поскольку эта реакция возможна лишь при полной комплементарности цепей ДНК и РНК, метод гибридизации позволяет установить ее существование.

Так вот, если после проведения синтеза РНК при участии РНК-полимеразы выделить синтезированную РНК и провести ее «отжиг» с денатурированной ДНК, то гибридизацию удастся получить лишь тогда, когда в раствор добавлена та же самая ДНК, которая и была использована в качестве матрицы. Данный эксперимент однозначно доказал, что последовательность нуклеотидов в синтезируемой РНК полностью определяется ДНК-матрицей и строящаяся цепь комплементарна по отношению к матрице.

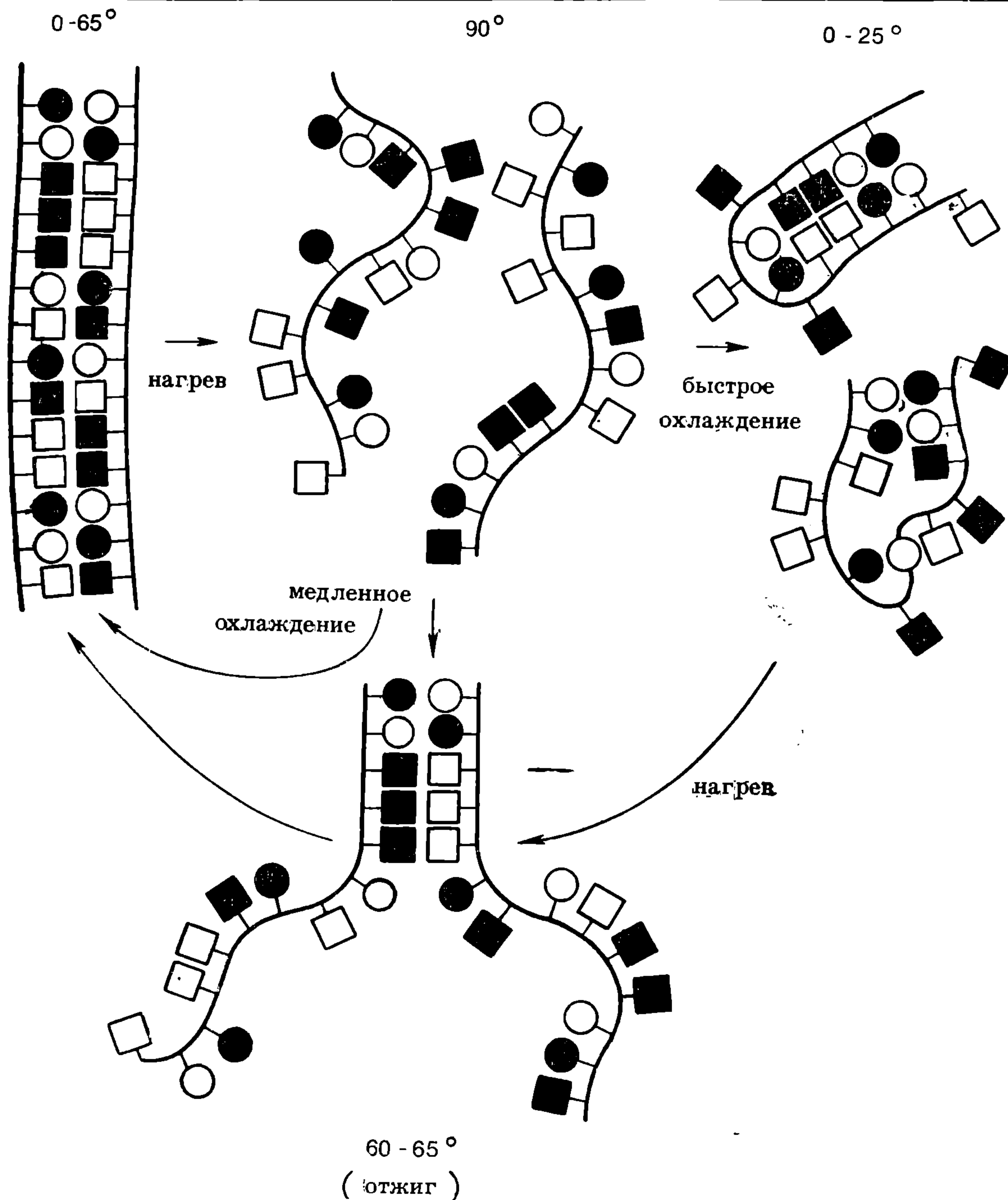


Рис. 3. Схема эксперимента, доказывающего, что при синтезе РНК последовательность нуклеотидов определяется ДНК-матрицей и строящаяся цепь комплементарна по отношению к матрице. Сначала опыт проводился на растворе ДНК. Его нагревали до критической температуры, и цепи ДНК раскручивались (происходила денатурация ДНК). Затем раствор медленно охлаждали, и значительная часть двухспиральных цепей восстанавливалась (ренатурация ДНК). Когда раствор денатурированной ДНК охлаждали быстро, комплементарные цепи, не успевая найти друг друга, скручивались в разные клубки. Если же раствор снова нагрева-

ли и выдерживали при температуре ниже критической, клубки начинали раскручиваться и двухтяжевые цепи ДНК восстанавливались.

Двухтяжевые структуры образуются не только из двух цепей ДНК, но и из ДНК и РНК, когда они комплементарны. Если денатурированную ДНК смешать с комплементарной ей РНК и прогреть при субкритической температуре (провести отжиг), возникают двухтяжевая ДНК и «молекулярный гибрид» ДНК и РНК. Такая реакция возможна лишь при условии абсолютной комплементарности цепей, а следовательно, служит безошибочным ее доказательством.

Теперь ясно, каким образом РНК может быть переносчиком информации от ДНК к местам белкового синтеза. Очевидно, она просто представляет собой точную копию одной из цепей ДНК.

Какая же из цепей ДНК копируется в процессе «переписывания» генетического сообщения, т. е. транскрипции? Или, может быть, копируются обе цепи? Этот вопрос был однозначно решен с помощью все того же метода молекулярной гибридизации.

Генетический аппарат некоторых простейших, например бактериофагов, содержит всего одну большую молекулу двухтяжевой ДНК. Если эту ДНК денатурировать, то две цепи, образующие двойную спираль, расходятся, и их можно разделить с помощью различных физических или химических методов. Обозначим эти цепи как +цепь и —цепь. Для постановки опыта выделяли РНК, которая синтезируется во время инфекции бактерий данным типом фага, и проводили ее молекулярную гибридизацию с +цепью и с —цепью. Оказалось, что гибридизация происходит только при использовании —цепи, тогда как +цепь с синтезированной РНК не гибридизуется. Следовательно, РНК комплементарна по отношению к —цепи ДНК и в то же время, очевидно, идентична +цепи ДНК, т. е. она образуется только на одной —цепи ДНК.

Таким образом, из двух цепей ДНК лишь одна, обозначаемая как —цепь, служит матрицей для синтеза РНК. Поэтому каждая молекула ДНК дает только один сорт РНК, причем молекулы РНК одноцепочечные. Согласно современным представлениям, синтез РНК на матрице ДНК происходит следующим образом

(рис. 4). Первый этап—присоединение фермента к молекуле матрицы, к ДНК. «На входе» в фермент двухтяжевая ДНК разъединяется, затем одна из цепей (—цепь) становится частью гибридного комплекса с синтезирующейся мРНК; «на выходе» этот гибрид разрушается и восстанавливается исходная структура молекулы ДНК. Эти события разыгрываются на участке ДНК, включающем около 30 нуклеотидных пар. Когда РНК-полимераза пройдет вдоль всей цепи ДНК, то в результате произойдет полное копирование +цепи ДНК. Вся ДНК будет находиться в исходной двухтяжевой форме, а РНК в виде однотяжевой цепи, один конец которой свободен, а другой связан с ферментом и матрицей.

Третий этап реакции—это как раз освобождение синтезированной РНК из комплекса с ферментом и матрицей. Механизм этого процесса до конца не ясен. Предполагается, что у бактерий он происходит при участии рибосом, которые присоединяются к новообразованной РНК и освобождают ее из комплекса с ферментом. В животных клетках такую функцию выполняют особые ядерные белковые частицы. Они образуют комплексы с мРНК и транспортируют ее по крайней мере до ядерной оболочки.

#### Где создаются и программируются «фабрики» для выработки белка?

Синтез всех РНК происходит в той части клетки, где расположена ДНК, а именно в хромосомах. Хромосомы производят, наряду с информационными рибонуклеиновыми кислотами, также рибосомные и транспортные РНК. Оказалось, что существуют особые гены,

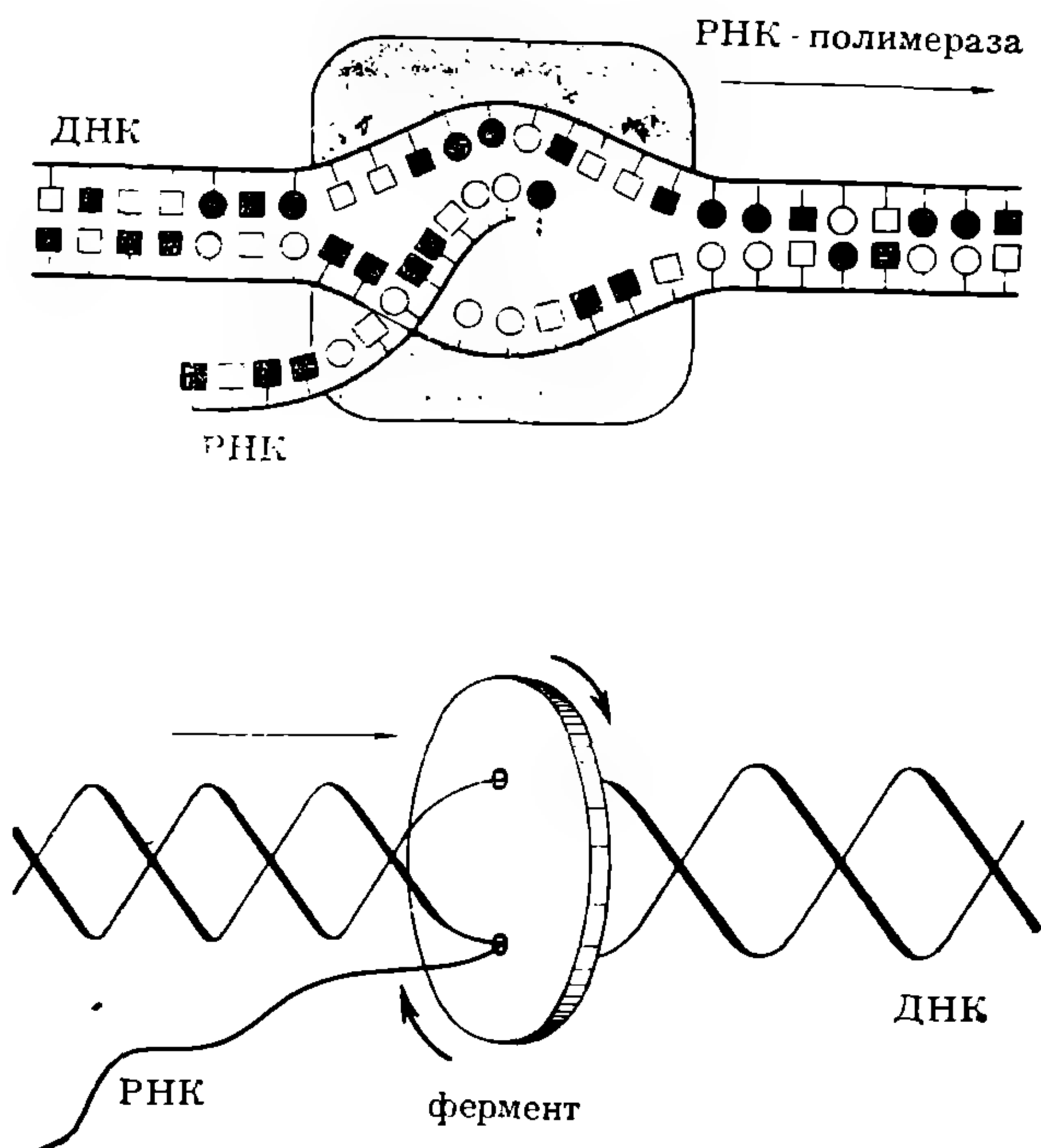


Рис. 4. Синтез РНК при участии РНК-полимеразы (вверху). Под влиянием фермента на небольшом участке цепи ДНК происходит распределение двухтяжевой ДНК на отдельные тяжи. На этом «расплетенном» участке и осуществляется матричный синтез. Следующий этап — собственно синтез цепи РНК. При этом активный центр фермента, т. е. тот участок белковой молекулы, который осуществляет присоединение новых нуклеотидов к растущей полинуклеотидной цепи, должен быть расположен так, чтобы обеспечивать контакт этих нуклеотидов с матрицей. Благодаря этому присоединиться может не любой нуклеотид, а только тот, азотистое основание которого комплементарно по отношению к основанию очередного нуклеотида матричной цепи ДНК. В результате на ограниченном участке образуется в качестве промежуточного продукта молекулярный гибрид — цепи ДНК и синтезированной РНК. После каждого очередного акта присоединения нуклеотида к цепи РНК происходит передвижение фермента РНК-полимеразы относительно цепи ДНК на одну нуклеотидную пару, так что в контакт с активным центром фермента вступает следующий нуклеотид ДНК. Между тем «на выходе» из фермента молекулярный гибрид ДНК и РНК диссоциирует и снова восстанавливается двухтяжевая ДНК, а РНК становится свободной. Внизу — модель, иллюстрирующая, каким образом РНК-полимераза может вызывать раскручивание и последующее восстановление двойной спирали ДНК

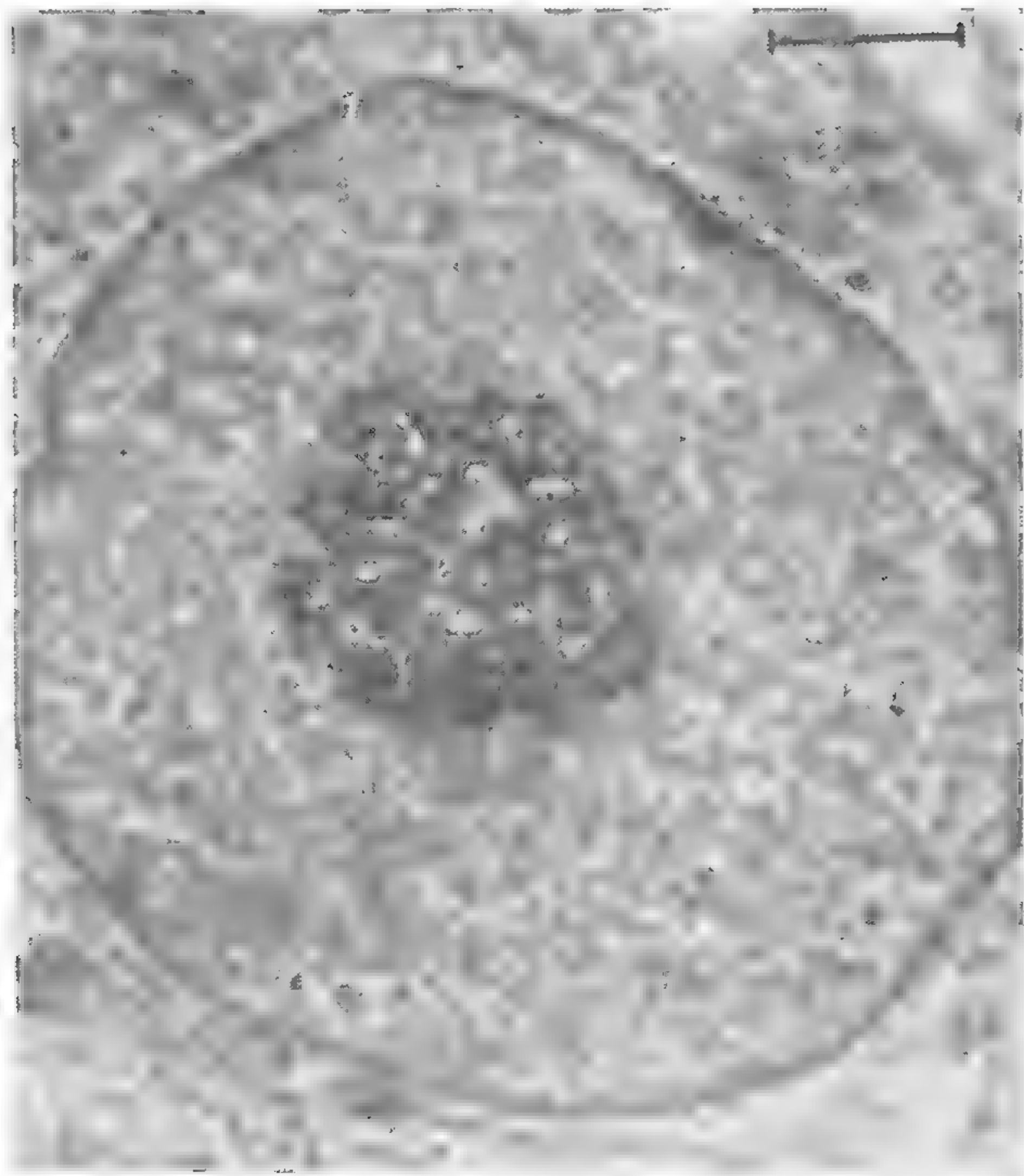


Рис. 5. Электронно-микроскопический снимок раковой клетки. В середине ядра отчетливо видно ядрышко, содержащее много мелких гранул — предшественников рибосом. 1 — ядерная оболочка; 2 — ядрышко; 3 — ядро; 4 — цитоплазма

представляющие собой ДНК, комплементарные рРНК и тРНК. Как правило, такие гены множественны, т. е. многократно повторяются в составе хромосом одной клетки. Это легко объяснимо. На рРНК, например, приходится около 80% всей РНК клетки, а следовательно, гены должны вырабатывать рРНК с большой интенсивностью. В хромосоме есть специальные области, состоящие почти исключительно из ДНК — матриц для рРНК. Здесь формируются особые структурные образования, которые называются ядрышками, — очень плотные маленькие тельца (1—10 мк в диаметре).

Долгое время исследователи наблюдали ядрышки, обязательно присутствующие в ядрах всех жизнеспособных клеток (рис. 5), но не могли разгадать, какую функцию эти ядрышки выполняют. Лишь за последние пять лет удалось понять их роль.

Первые же опыты с использованием меченых изотопов показали, что новообразованная РНК с очень большой скоростью концентрируется в ядрышке. Эту РНК стали выделять, и исследование ее свойств привело к выводу, что она представляет собою РНК, по ряду признаков идентичную рибосомной. Это позволило предположить, что ядрышко и есть место синтеза рибосомной РНК.

Наиболее убедительные экспериментальные данные, подтверждающие это первоначальное предположение, были получены с помощью применения метода молекулярной гибридизации к объектам, изучаемым в классической генетике.

Тот участок хромосомы, который формирует ядрышко, называется ядрышковым организатором. При определенных условиях путем скрещивания можно получить организмы, которые не содержат вообще ядрышкового организатора или содержат его материал в меньшем количестве ( $1/4$ ,  $2/4$ ,  $3/4$ ). Зародыши, вообще не содержащие этих участков хромосом, нежизнеспособны и скоро умирают. Оказалось, что они не только не содержат ядрышек, но и абсолютно неспособны к синтезу рибосомной РНК.

Если проводить гибридизацию ДНК с рибосомной РНК, то можно определить ту порцию ДНК клетки, которая комплементарна рибосомной РНК и, следовательно, выступает в роли матрицы при ее синтезе. В нормальных клетках она составляет около 0,1%, а в зародышах, не содержащих ядрышкового организатора и не образующих ядрышка, эта ДНК вообще отсутствует. Далее оказалось, что в организмах, содержащих  $1/4$ ,  $2/4$  и  $3/4$  материала ядрышкового организатора, соответственно присутствуют  $1/4$ ,  $2/4$  и  $3/4$  от ДНК, комплементарной рРНК.

Эти опыты вполне однозначно устанавливают связь между ядрышком и синтезом рибосомной РНК. Ясно также, что ядрышковый организатор — это участок хромосомы, содержащий гены для синтеза рРНК. Продуктом активности ядрышкового организатора и является ядрышко.

При электронной микроскопии в ядрышке можно различить как тонкие нитевидные элементы, так и гранулы, по своему виду напоминающие рибосомы.

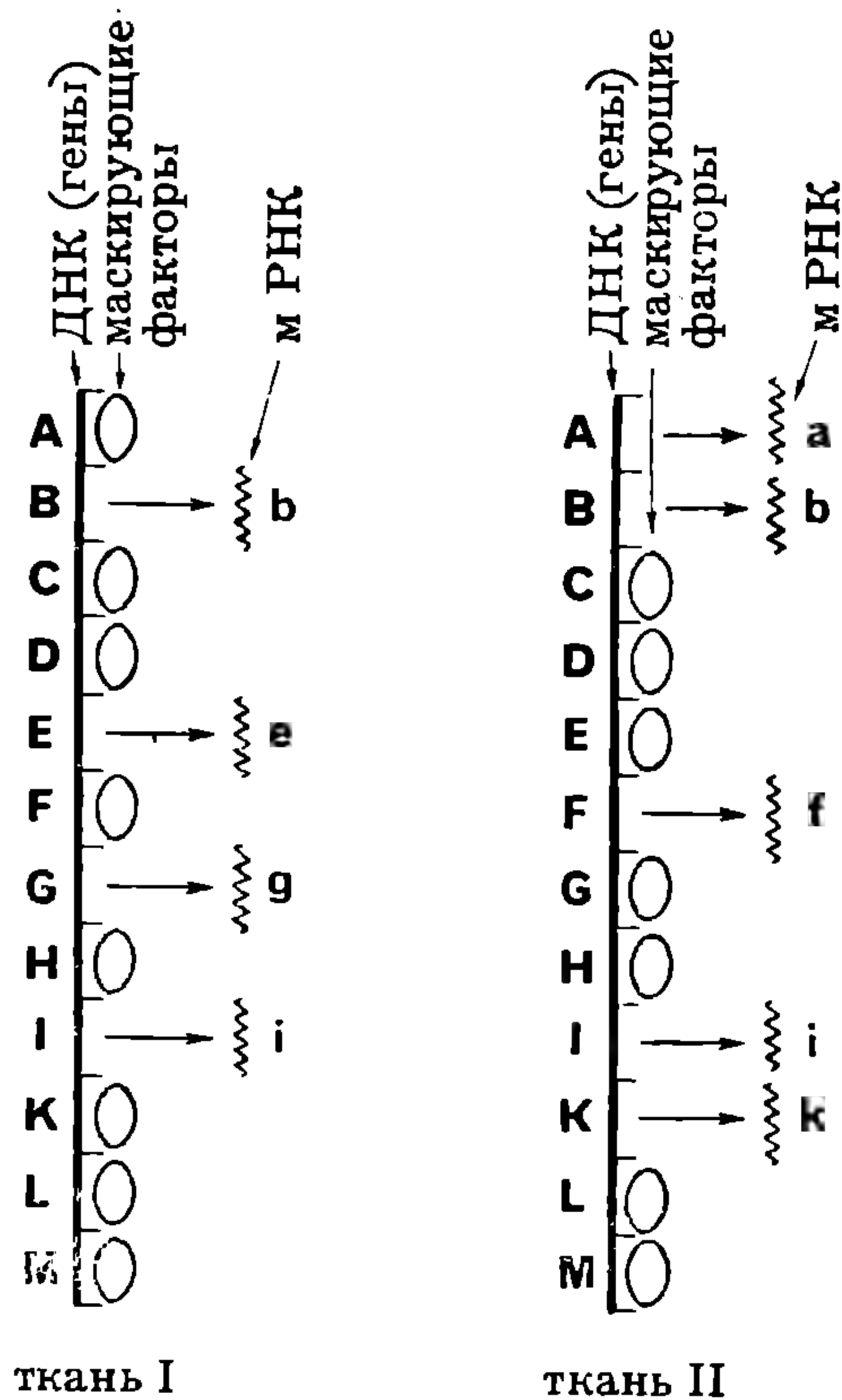


Рис. 6. Схема, объясняющая явление дифференцировки двух тканей одного организма, т. е. регуляцию на уровне транскрипции. Буквами А, В, С и т. д. обозначены гены, одинаковые в разных клетках одного организма. Однако поскольку в разных тканях маскирующие факторы (возможно, гистоны или другие белки) «выключают» разные гены, то набор синтезирующихся информационных РНК (а, б, с и т. д.) различен в разных тканях, а следовательно, различен и набор белков, образующихся при участии информационных РНК

Действительно, последующие опыты показали, что в ядрышках происходит не только образование рибосомной РНК. Она соединяется с рибосомными белками, и здесь же формируются гранулы — предшественники рибосом цитоплазмы.

Третья из известных РНК — тРНК — также синтезируется в ядре при участии хромосом, но более точных сведений о локализации ее синтеза пока нет.

Теперь мы можем представить себе, как осуществляется транскрипция — первый этап реализации генетической информации, заложенной в ДНК. В результате синтетических процессов, идущих в хромосомах, образуются как неспецифические «фабрики» для производства белка (рибосомы и тРНК), так и программирующая их мРНК, определяющая, какой белок будет создаваться в этих машинах. Синтез всех этих РНК осуществляется ферментом РНК-полимеразой на матрице хромосомной ДНК. Рибосомы, тРНК и мРНК затем транспортируются в цитоплазму и там организуют синтез белка.

### Почему клетки отличаются друг от друга?

В любой клетке одного организма, как бы они различны ни были, содержится одинаковый запас генетической информации, такой же, как и в зародышевых

клетках. Каким же образом возникают тогда те различия в белковом составе, а отсюда в структуре и функции клетки, которые делают клетки разных тканей столь непохожими друг на друга? Ответить на этот вопрос помогает изучение механизмов процесса транскрипции.

Многообразие клеток легко объяснимо, если предположить, что в каждой клетке переводится на аминокислотный шифр для создания белковых молекул лишь часть общего запаса генетической информации, причем эта часть различна в клетках разных тканей. И далее, из этой гипотезы вытекает, что наиболее экономичным был бы отбор «нужной» для данной клетки информации уже на первом этапе ее реализации — транскрипции. Другими словами, не все, а лишь часть молекул ДНК, входящих в состав хромосом, выступает в роли матриц в синтезе мРНК, причем в разных клетках активны разные молекулы ДНК (рис. 6)

Эта гипотеза подтверждается рядом фактов. Укажем на два из них. Клетки слюнных желез личинки дрозофилы содержат гигантские хромосомы, которые очень легко наблюдать на протяжении всей жизни клетки, так как они постоянно остаются хорошо видимыми. В определенных местах этих хромосом периодически образуются так называемые «пuffs» — вздутия. Оказалось, что именно в этих участках

происходит синтез мРНК. Значит, далеко не вся ДНК хромосом активна как матрица в синтезе РНК, т. е. транскрипция ограничена лишь небольшой частью ДНК. Далее выяснилось, что если брать клетки на одной и той же стадии развития, то пuffs в них будут расположены строго в одних и тех же участках хромосом. В клетках же, находящихся на разных этапах развития, т. е. по существу в разных клетках, пuffs возникают в совершенно других участках хромосом. Таким образом, на разных стадиях развития клетки активными матрицами служат разные молекулы ДНК.

Другой пример связан с методом молекулярной гибридизации. Если проводить гибридизацию ДНК и РНК, выделенных из бактериальных клеток, то РНК гибридизуется с половиной всех молекул денатурированной, т. е. односторонней, ДНК. Поскольку лишь одна цепь ДНК служит матрицей, то этот факт означает, что каждая двухцепочечная ДНК транскрибируется. Следовательно, все молекулы ДНК у бактерий используются как матрицы для синтеза РНК. У высших организмов РНК гибридизуется лишь со сравнительно небольшой порцией всей ДНК (от 5 до 20%). Следовательно, лишь сравнительно небольшая часть всей ДНК служит матрицей в синтезе мРНК.

Далее был использован методический прием так называемой конкурентной гибридизации. Проводилась гибридизация ДНК и меченой радиоактивными изотопами РНК, в результате которой с ДНК связывалось какое-то определенное количество радиоактивности. Как же будет проходить гибридизация при добавлении в пробирку избытка немеченой РНК? Если эта РНК содержит цепи, идентичные цепям меченой РНК, они будут занимать те же места на ДНК, что и радиоактивная РНК, и тем самым вызовут снижение радиоактивной РНК, связавшейся с ДНК. Возникнет конкуренция, которая указывает на присутствие в составе двух препаратов РНК идентичных молекул. Если же изучаемые РНК не имеют полного сходства, то и конкуренции между ними не будет.

Исследование РНК, выделенных из различных органов одного и того же организма, с помощью конкурентной гибридизации показало, что наряду с одинаковыми РНК клетки содержат и разные РНК. Более того, изменение в наборе РНК происходит в клетках одного и того же органа, но при различных физиологических состояниях. Например, наборы информационных РНК в клетках печени плода крысы, печени взрослого животного и в печени, регенерирующей после операционного удаления части органа, различны. Эти опыты убедительно показывают, что различные клетки или одни и те же клетки, но на разных стадиях развития (на разных стадиях дифференцировки) используют разные порции запаса информации, содержащейся в едином для всех клеток геноме.

Но раз так, возникает следующий вопрос: какие факторы ответственны за то, что часть молекул ДНК активна как матрицы, а часть — неактивна? Другими словами, каким образом регулируется отбор генети-

ческой информации для транскрипции, который в конечном итоге определяет дифференцировку клеток?

Сразу же следует отметить, что в настоящее время этот вопрос не разрешен, но подход к нему уже намечен. Прежде всего, обратимся к структурной организации хромосом. Наряду с ДНК, на которую приходится около 30% всего материала хромосом, они содержат и различные белки. Это основные (или щелочные) белки, называемые гистонами, и кислые белки — негистоновые. Эти белки связаны с ДНК, причем гистоны прочно удерживаются на ДНК, так как они являются соединениями щелочного характера, полиоснованиями, а ДНК — поликислота. Еще в 40-х годах английские ученые, супруги Седманы, высказали предположение, что гистоны регулируют активность генов. Первое экспериментальное подтверждение этой гипотезы было получено лишь пять лет тому назад.

Опыты заключались в удалении гистонов из ядер и наблюдении за синтезом РНК. Оказалось, что при этом он значительно усиливался. Наоборот, если в препараты хромосом или ядер добавляли избыток гистона, то происходило подавление образования в них РНК. Чтобы выяснить механизм действия гистонов, стали изучать его влияние на различные компоненты реакции. Было установлено, что гистоны связываются с ДНК и в результате образуется комплекс, который уже более не может служить матрицей в синтезе РНК при участии РНК-полимеразы. Если в пробирке присутствует ДНК в форме комплекса с гистонами и свободная ДНК, то РНК-полимераза осуществляет синтез РНК только на свободной ДНК. Гистоны не оказывают действия на сам фермент РНК-полимеразу, но делают неактивной матрицу.

Результаты этих опытов, казалось бы, полностью подтверждают гипотезу Седманов. Можно думать, что в хромосоме часть ДНК свободна от гистонов, а часть связана с гистонами, благодаря чему первая может служить матрицей в синтезе РНК, может транскрибироваться, а вторая не может, находясь таким образом в «маскированном» состоянии. Другими словами, согласно гипотезе Седманов, гистоны подавляют активность части генов, определяя, будет или не будет данный ген работать.

Более того, под влиянием гистонов матрица структурно, морфологически изменяется — происходит конденсация, агрегация материала. Здесь опять-таки напрашивается сопоставление с хромосомами. Дело в том, что ряд работ, выполненных с использованием электронного микроскопа, показал, что участки хромосом, которые активно синтезируют РНК, находятся в «разрыхленном», если так можно выразиться, состоянии, тогда как неактивные участки содержат сильно перекрученный, агрегированный материал. По аналогии с данными о влиянии гистонов на чистую ДНК, можно предположить, что именно присутствие гистонов в «неактивных» участках хромосом обуславливает их конденсированное состояние и, как следствие,

неспособность выступать в роли матриц для синтеза РНК.

Однако эти, конечно, сильно упрощенные представления не могут объяснить всех фактов, которые накопились к настоящему времени. Например, оказалось, что активно функционирующие участки хромосом отнюдь не лишены гистонов, но содержат их почти в том же количестве, что и неактивные участки. Это уже прямо противоречит «гистоновой» гипотезе.

Факты такого рода заставляют подходить к вопросу о регуляции генетической активности крайне осторожно и исследовать его гораздо более детально. Весьма важно, что гистоны — это не один, а целая группа белков (около 10, а может быть, и больше), обладающих основными свойствами. Поэтому легко себе представить, что не все гистоны, а лишь их определенная фракция выполняет регуляторные функции. Действительно, из хромосом можно выделить препарат, содержащий наряду с ДНК около 80% всех гистонов, но, несмотря на это, не отличающийся по своим матричным свойствам от чистой ДНК. Таким образом, удаление всего 20% гистонов ведет к снятию ограничений матричной активности ДНК. Следовательно, присутствие гистонов в активных участках хромосом еще не означает, что они содержат ту фракцию гистонов, которая снижает матричную активность ДНК.

Предложены и другие варианты «гистоновой» гипотезы. Согласно одной из них, с каждой ДНК связаны одни и те же гистоны, а активация гена зависит от присоединения к такому комплексу третьего белка — негистонового, который снимает ингибирующее действие гистона.

Как бы то ни было, в настоящий момент ясно, что механизмы регуляции генетической активности весьма сложны. Определенные фракции белков-гистонов несомненно принимают участие в этой регуляции, но механизмы маскирования (выключения) и активирования ДНК остаются еще непознанными. Сейчас это одна из основных загадок молекулярной биологии, поскольку именно она содержит ключ к решению проблемы, почему разные типы клеток отличаются друг от друга. Это так называемая проблема дифференцировки.

Тот же вопрос можно поставить иначе: почему, каким образом из одной зародышевой клетки развивается сложно организованный организм, состоящий из огромного числа различающихся между собою клеток? И здесь же мы подходим к камню преткновения современной медицины: почему при определенных воздействиях клетки так изменяют свои свойства, что становятся опухолевыми, давая начало раковому росту?<sup>1</sup>

Решение этих проблем в той или иной мере зависит от выявления механизмов транскрипции.

В заключение — один пример, показывающий, как исследование процессов транскрипции помогает изучению опухолевого роста. Известно, что ученым удалось доказать вирусное происхождение целого ряда опухолей. Так, некоторые аденовирусы и вирус SV-40, проникая в клетку, могут не вызывать ее гибели, но длительно сохраняться в ней. ДНК этих вирусов, по всей вероятности, включается в хромосомный аппарат клетки. Это явление в свою очередь служит причиной последующего превращения клетки в опухолевую. Такая клетка приобретает способность к неограниченному росту и размножению, причем ее рост и размножение перестают адекватно контролироваться организмом. Проявляет ли себя вирусная ДНК, включившаяся в хромосомный аппарат хозяина? Участвует ли она в выработке информационных РНК и через них в синтезе белка? Это один из основных вопросов в исследовании вирусных опухолей. Ответ можно получить с помощью метода молекулярной гибридизации. Оказалось, что довольно значительная часть информационной РНК, синтезируемой опухолевой клеткой, способна специфически гибридизоваться с ДНК, выделенной из вируса, вызвавшего данную опухоль. Следовательно, вирусные ДНК в опухолевой клетке находятся в активном состоянии — они транскрибируются, служат матрицей для синтеза вирусных мРНК и, по-видимому, через них — для синтеза некоторых белков. Возможно, что выработка этих мРНК и белков существенна для поддержания «опухолевого» состояния клетки. Это опять-таки лишь первые подходы к весьма сложной проблеме вирусного канцерогенеза, но они иллюстрируют плодотворность изучения транскрипции при нарушениях нормальной дифференцировки.

Не вызывает сомнения, что дальнейшее проникновение в тайны регуляции транскрипции поможет решить многие общепроизводческие и медицинские вопросы.

УДК 575

<sup>1</sup> Проблема возникновения рака рассматривается также в статье В. С. Шапота «Злокачественный рост глазами биохимика». «Природа», 1968, № 3.

# Радиозвезды-пульсары

Э. Хьюиш, С. Дж. Белл,  
Дж. Д. Пилкинтон,  
П. Ф. Скотт, Р. Э. Коллинс

## Научные сообщения

Летом 1967 г. в Маллардской обсерватории на большом радиотелескопе, работающем на частоте 81,5 МГц (что соответствует волне  $\approx 3,7$  м), были зарегистрированы необычные сигналы пульсирующего радиоисточника. Систематические исследования показали, что на фиксированной частоте приема эти сигналы представляют собой последовательность импульсов, каждый из которых имеет продолжительность  $\sim 0,3$  сек. и повторяется с периодом около 1,337 сек. (рис. 1). Вскоре было установлено, что этот период выдерживается исключительно точно: иногда вследствие уменьшения амплитуды сигналы пропадали на записи, но когда они появлялись опять, первый сигнал наблюдаемой последовательности регистрировался в точно предугаданный момент. Дальнейшие наблюдения на протяжении полугода показали, что этот период остается постоянным с точностью, превышающей  $10^{-5}\%$ , хотя имеются систематические изменения, которые могут быть объяснены орбитальным движением Земли.

Импульсная природа записанных сигналов выяснилась при периодическом прохождении сигнала через полосу приемника шириной в 1 МГц при изменении частоты его настройки. Оказалось, что на протяжении

каждого периода частота сигнала уменьшалась в полосе приема от 81,5 МГц до 80 МГц ( $\lambda = 3,70$  м  $\div$   $\div 3,75$  м) за время 0,2 сек, дальше следовала пауза около 1,1 сек и затем начинался новый цикл. Таким образом, импульсы представляют собой узкополосные сигналы с убывающей частотой, которая попадает в полосу приемника (1 МГц). При этом импульсы с наименьшей частотой запаздывают на 0,2 сек, что соответствует скорости изменения частоты  $\sim -5$  МГц/сек. Эти данные позволяют определить мгновенную ширину линии сигнала, которая получается равной  $80 \pm 20$  кГц.

Рис. 2 иллюстрирует наблюдаемый дрейф частоты сигналов. Ниже будет показано, что он, по всей вероятности, связан с дисперсией излучения, возникающей при прохождении волн в межзвездной среде. (Рис. 2 предоставлен Н. Лотовой.)

Наблюдения за источником на протяжении полугода показали, что его положение на небе не меняется с точностью до  $2'$ . Это означает, что источник расположен далеко за пределами солнечной системы.

Непосредственные наблюдения источника позволяют определить его координаты, которые при прямом восхождении равны:

$$\alpha_{1950} = 19^h 19^m 38^s \pm 3^s$$

$$\delta_{1950} = 22^\circ 00' \pm 30'$$

Записи, полученные для случая, когда пульсирующий источник был не-

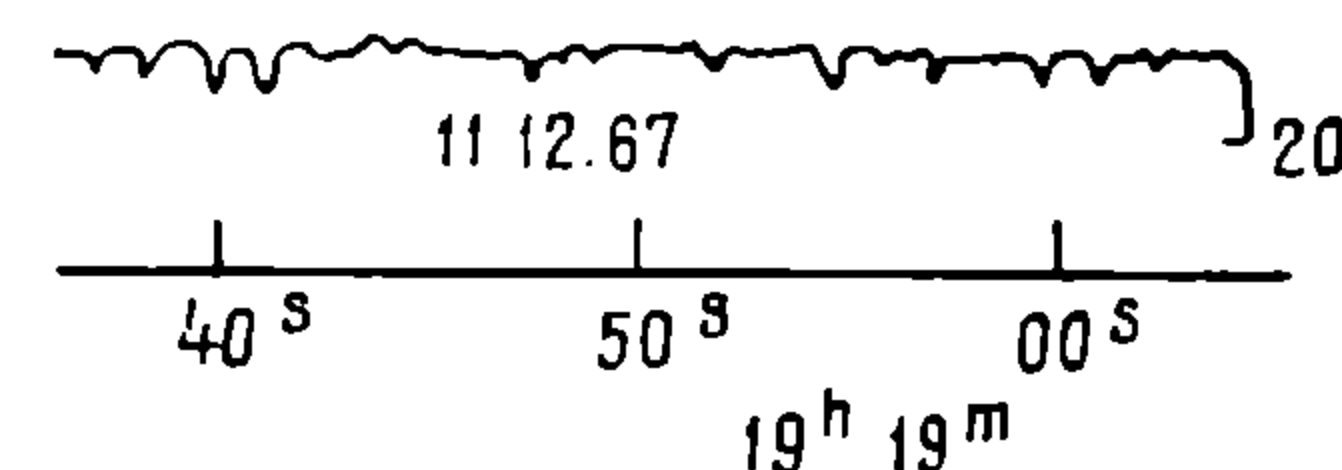


Рис. 1  
Запись пульсирующего радиоисточника в случае сильного сигнала (постоянная времени приемника 0,1 сек). Величина максимального отклонения соответствует  $20 \cdot 10^{-26}$  вт  $\cdot$  м $^{-2}$  гц $^{-1}$ . Масштаб по оси ординат выражен в единицах  $10^{-26}$  вт  $\cdot$  м $^{-2}$  гц $^{-1}$

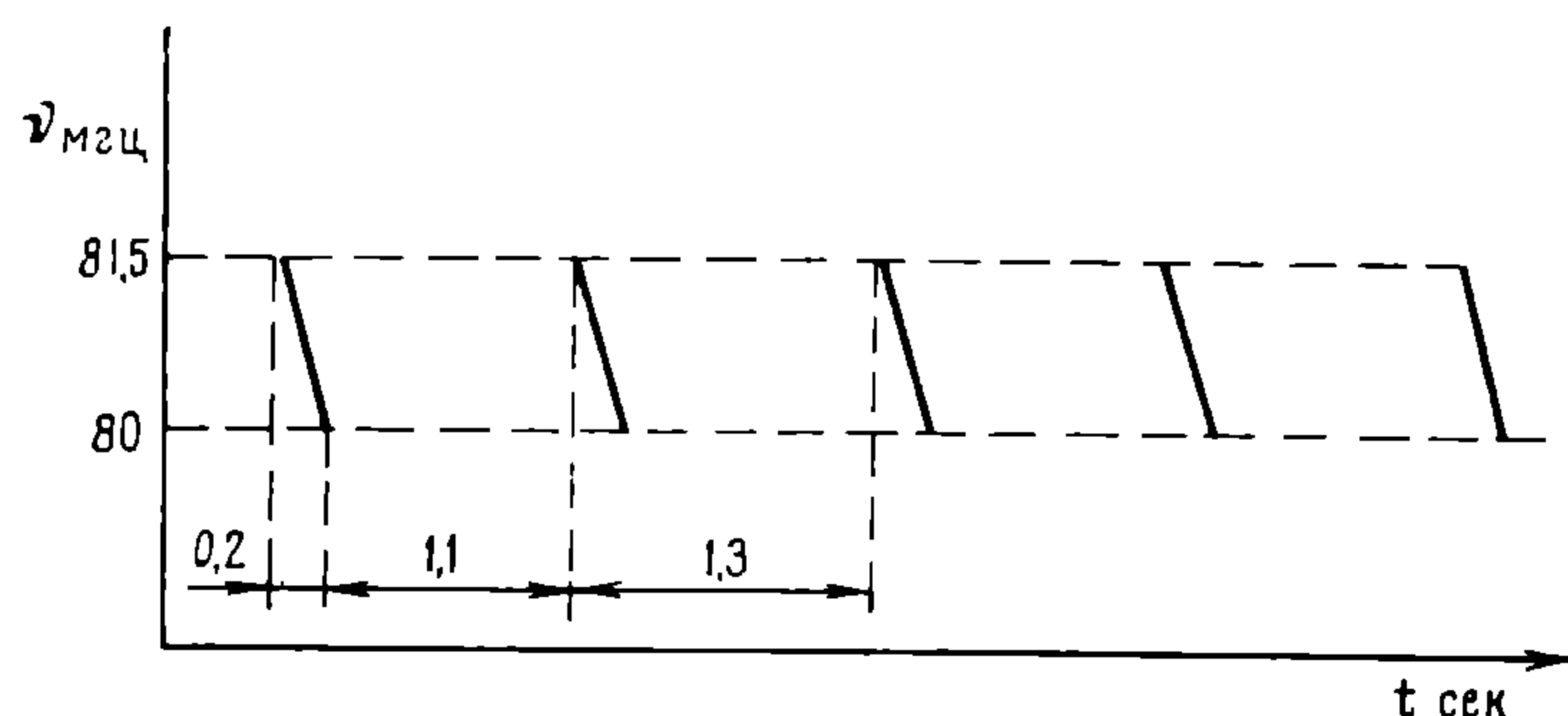


Рис. 2.

Временные изменения частоты регистрируемого сигнала. Видно, что частота изменяется в диапазоне 81,5—80 МГц в течение 0,2 сек, после чего следует пауза (1,1 сек), а затем повторяется такое же изменение частоты. Продолжительность периода при этом равна 1,3 сек

обычайно сильным, приведен на рис. 1. Они наглядно иллюстрируют регулярную периодичность сигналов, а также характер нерегулярных изменений амплитуды импульсов. В этих примерах наиболее мощные импульсы достигают максимальной плотности потока, равной  $20 \cdot 10^{-26}$  Вт/м<sup>2</sup> · Гц, в то время как средняя плотность потока бывает еще в несколько раз меньше. Эти данные показывают, что источник является слабым, и не удивительно, что его не обнаружили раньше. В прежних обзорах неба на волнах метрового диапазона эта средняя плотность потока была ниже уровня шумовых флуктуаций.

Как уже отмечалось, величина сигналов испытывает значительные ежедневные изменения. Обычно сигналы наблюдаются на протяжении около 1 мин., они расположены совершенно случайно в 4-минутном интервале, в течение которого источник регистрируется неподвижной принимающей антенной. Помимо ежедневных изменений наблюдаются секундные и минутные флуктуации средней амплитуды импульсов. Изменения за время  $\sim 1$  сек. могут быть объяснены за счет межпланетных мерцаний, связанных с дифракцией радиоволн на мелкомасштабных неоднородностях межпланетной плазмы. На рис. 3а приведены результаты длительных наблюдений, когда антенна на протяжении 30 мин. сопровождала источник. Ежедневные изменения интенсивности приведены на рис. 3б.

Эти данные позволяют заключить, что, несмотря на регулярный характер появления импульсов, величина излучаемой мощности подвержена изменениям с коротким и длинным периодами. Видно, что мощность источника со временем значительно изменяется. Одновременные записи импульсов и секундных меток времени от специальной радиостанции показали, что наблюдается ежедневное изменение времени  $T$  — между выбранной меткой времени  $t_0$  и моментом появления импульса, как это показано на рис. 4. Изменение времени  $T$  соответствует регулярному смещению частоты импульсов. Учет постоянства частоты повторения импульсов позволяет ожидать линейное возрастание или убывание  $T$ . Однако наблюдения обнаруживают заметную кривизну в функции постепенного изменения частоты от дня наблюдения (см. рис. 4). Если считать, что это доплеровский сдвиг частоты, который связан только с движением Земли, то число импульсов, принятых за один день, будет

$$N = N_0 \left( 1 + \frac{v}{c} \cos \varphi \cdot \sin \frac{2\pi n}{366 \cdot 25} \right)$$

где  $N_0$  — число импульсов, излучаемых за один день источником,  $v$  — орбитальная скорость  $\gamma$  Земли,  $\varphi$  — широта источника относительно плоскости эклиптики и  $n$  — число произвольного дня наблюдения, которое вычисляется из условия  $n = 0$

для 17 января 1968 г., когда скорость Земли в направлении луча зрения на источник была равной нулю. Для того чтобы показать, что наблюдаемое возрастание  $N$  может быть объяснено движением Земли, удобно найти такие значения  $n$ , для которых  $\frac{\partial T}{\partial n} = 0$ . Это имеет место при  $n_1 = 15,8 \pm 0,1$  и  $n_2 = 28,7 \pm 0,1$ , и так как между этими датами  $N$  возрастает на 1 импульс, мы получаем:

$$1 = \frac{N_0 v}{c} \cos \varphi \times \left[ \sin \frac{2\pi n_2}{366 \cdot 25} - \sin \frac{2\pi n_1}{366 \cdot 25} \right],$$

что дает  $\varphi = 43^\circ 36' \pm 30'$ . Это соответствует склонению, равному  $21^\circ 58' \pm 30'$ , что согласуется со значением, полученным непосредственно. Истинная периодичность источника, вычисленная с учетом доплеровского смещения частоты:

$$P_0 = 1,3372795 \pm 0,0000020 \text{ сек}$$

Интересно отметить, что в принципе существует возможность обнаружения изменений доплеровского смещения, которое связано с движением самого источника. Такого рода эффект мог бы иметь место, если источник представляет собой одну из компонент двойной системы или если сигналы посылаются с планеты, которая вращается вокруг основной звезды. Но пока систематическое возрастание  $N$  является регулярным с точностью до  $1/2 \cdot 10^{-7}$  и нет данных о дополнительном орбитальном движении источника, аналогичном движению Земли. Следовательно, исходя из той точности измерений частоты смещения источника, которая приведена выше, это не двойная звезда и не планета.

Предварительное изучение возможного существования иных пульсирующих источников уже привело к обнаружению трех источников, обладающих весьма похожими свойствами. Это позволяет предположить, что такой тип источников может быть характерным для потоков радиоизлучения малой интенсивности. Исходя из высокой стабильности колебаний, предлагается предварительное объяснение столь необычных источников, излучение которых может быть вызвано колеба-

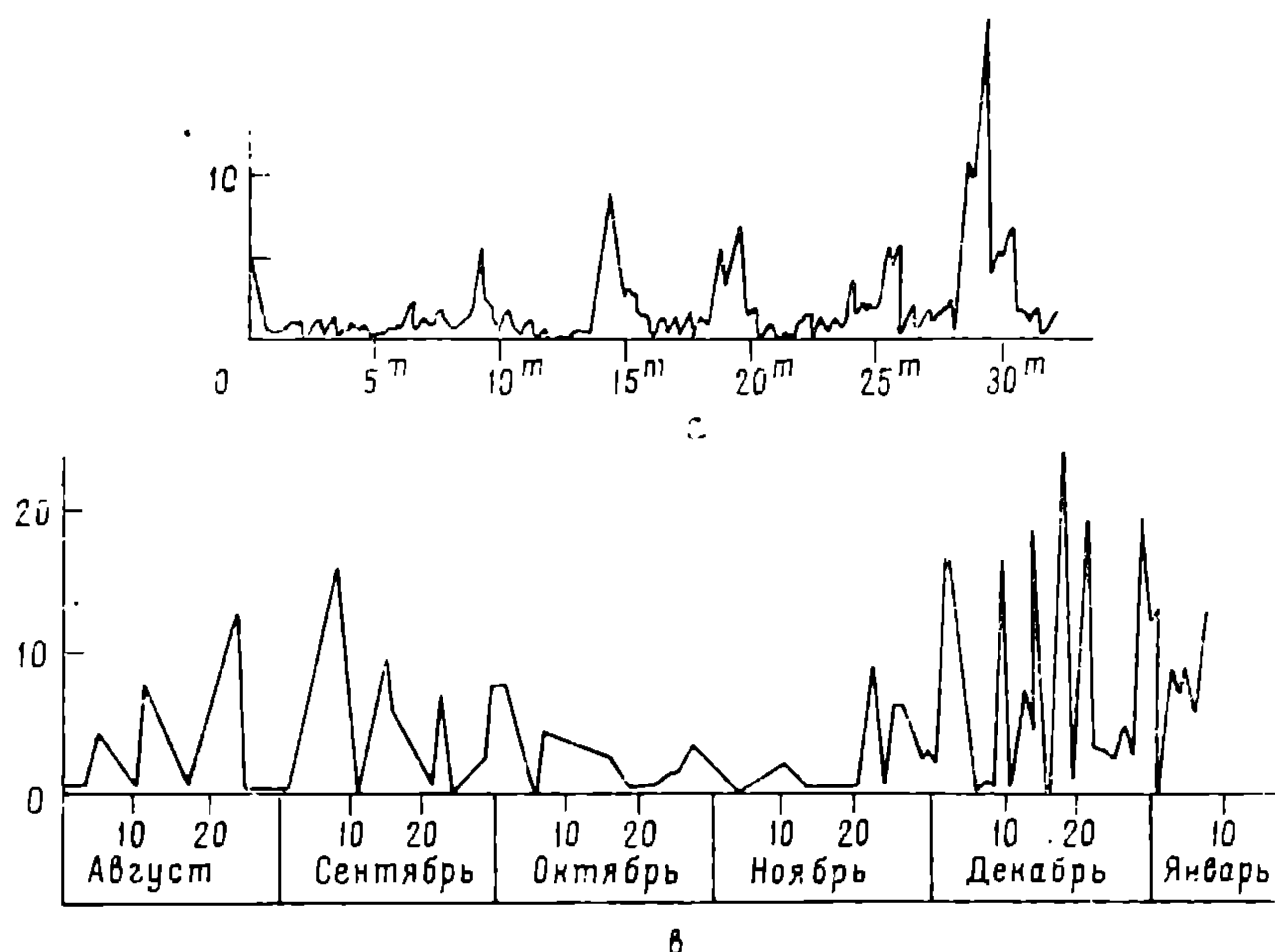


Рис. 3

Зависимость изменения усредненной амплитуды импульса от времени: а — минутные изменения амплитуды импульса на протяжении 30-минутных сеансов наблюдений; б — ежедневные изменения максимальной амплитуды импульса (ордината отсчитана в единицах  $\text{вт} \cdot \text{м}^{-2} \text{гц}^{-1} \cdot 10^{-26}$ , т. е. крупномасштабный период изменений амплитуды — 6 месяцев)

ниями белых карликов или нейтронных звезд.

Отсутствие параллакса, превышающего  $2''$ , означает, что источник расположен на расстоянии большем чем  $10^3$  а. е. ( $> 150$  млрд км, что составляет  $1/60$  светового года). Это нижний предел расстояния до источника и, очевидно, много меньшая величина, чем действительное расстояние. Энергия, излучаемая источником в одном импульсе на частоте 81,5 Мгц, в полосе 1 Мгц превышает  $10^{17}$  эрг при изотропном излучении источника. Помимо этого, можно определить еще верхний предел физических размеров источника. Малая мгновенная ширина линии сигнала (80 кгц) и скорость изменения его частоты ( $-4,9$  Мгц/сек) показывают, что продолжительность излучения на любой заданной частоте не превышает 0,016 сек. Поэтому размеры источника не могут превышать  $4,8 \cdot 10^3$  км. (Напомним, что размеры Земли около  $13 \cdot 10^3$  км.)

Верхний предел расстояния до источника может быть определен по наблюдаемой скорости частотного дрейфа, так как пульсирующее излучение, какова бы ни была его природа, должно испытывать диспер-

сию вследствие прохождения сквозь ионизированный водород межзвездной среды. Для однородной плазмы изменение частоты, связанное с дисперсией, определяется соотношением

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{c}{L} \frac{v^3}{v_p^2},$$

где  $L$  — длина пути в межзвездном пространстве,  $v_p$  — собственная частота плазмы. Задаваясь средним значением плотности  $0,2$  эл.  $\text{см}^{-3}$ , легко показать, что наблюдаемый дрейф частоты ( $-4,9$  мгц/сек) соответствует расстоянию  $L \sim 65$  пс (около 210 световых лет, т. е. пульсар находится примерно в 50 раз дальше, чем самая ближайшая к нам звезда).

Конечно, некоторая дисперсия может возникать в самом источнике. В этом случае дисперсия в межпланетной среде должна быть меньше, поэтому вычисленное значение  $L$  служит верхним пределом. И хотя межзвездная плотность электронов в районе Солнца известна недостаточно точно, тем не менее полученный результат оказывается весьма важным. Он показывает, что пульсирующие радиоисточники являются

локальными объектами, которые расположены в пределах галактического масштаба расстояний (и сравнительно недалеко от Солнца).

К сожалению, существующая точность определения координат не позволяет произвести оптическое отождествление. Исследуемая область неба расположена вблизи галактической плоскости и содержит 2 звезды 12-й величины и множество более слабых объектов. Отсутствие других данных позволяет сделать только самое предварительное высказывание относительно природы этих удивительных источников.

Наиболее существенная особенность, которая должна быть объяснена, состоит в исключительной стабильности частоты импульсов. Это наводит на мысль о том, что их происхождение скорее связано с колебаниями всей звезды в целом, а не с локальными возмущениями в атмосфере звезды.

Недавно Мельцером и Торном был проведен расчет собственных частот для радиальных пульсаций сверхплотных звезд. Ими были вычислены периоды таких колебаний для звезд,

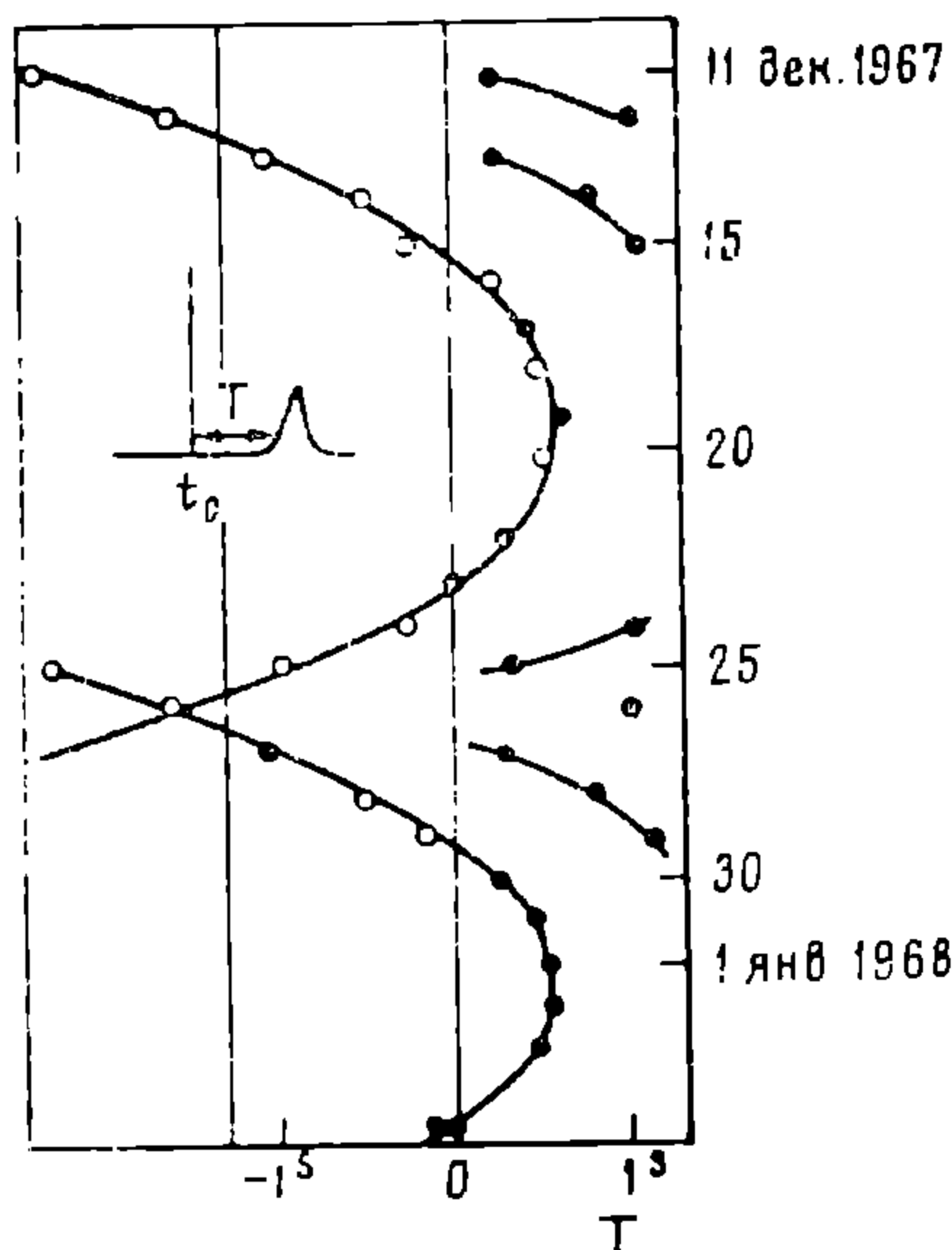


Рис. 4. Ежедневные изменения времени прихода импульса. По горизонтальной оси отложено время запаздывания  $T$ , а по вертикальной — даты наблюдений

у которых плотность в центре изменялась в пределах от  $10^5$  до  $10^{19}$  г/см<sup>3</sup>. Результаты этих исследований означают, что для наблюдаемых периодов порядка 1 сек могут иметь место две возможности. Для плотности  $10^7$  г/см<sup>3</sup>, которая соответствует звезде — белому карлику, основной период равен около 8 сек. При незначительном увеличении плотности период возрастает и система вследствие гравитационного коллапса переходит в нейтронную звезду. Так как основной период слишком велик, для объяснения наблюдений можно было бы привлечь более высокие обертоны, имеющие меньшие периоды. Однако если принять эту модель, то тогда трудно понять, почему отсутствует основной период. В наших наблюдениях такой период был бы легко обнаружим, и его отсутствие нельзя приписать неточности наблюдения. Другая возможность может реализоваться при плотности  $10^{13}$  г/см<sup>3</sup>, что соответствует нейтронной звезде. При такой плотности основной период будет порядка 1 сек, однако при плотностях, превышающих  $10^{13}$  г/см<sup>3</sup>, период быстро убывает до  $10^{-3}$  сек.

Если допустить, что излучение связано с радиальными колебаниями белых карликов или нейтронных звезд, то естественно предположить, что ра-

диальные колебания генерируют на поверхности звезды гидромагнитные ударные волны, которые должны сопровождаться всплесками рентгеновских лучей и энергичных электронов. В этом случае излучение будет напоминать радиовсплески солнечных вспышек, но в отличие от них оно будет происходить со всей поверхности звезды. Такая модель должна быть согласована с собственными размерами источника, верхний предел которого  $\sim 5 \cdot 10^3$  км. Это не противоречит средней величине  $9 \cdot 10^3$  км, приводимой для белых карликов Гринштейном. Энергетические требования к такой модели могут быть легко определены. Мы будем исходить из того, что полная энергия, излучаемая в полосе 1 Мгц солнечным всплеском III типа, должна вызывать наблюдаемый радиопоток при условии, что источник удален на расстояние  $\sim 10^3$  а. е. (нижний предел). Если предположить, что энергия радиоизлучения связана с общей энергией выброса звезды ( $\sim 10^{32}$  эрг), так же как у солнечных всплесков, и предположить еще, что каждый импульс соответствует одному выбросу, тогда требуемая энергия равна  $\sim 10^{39}$  эрг/год. Для расстояния 65 пс (верхний предел) соответствующая величина будет равна  $\sim 10^{47}$  эрг/год. Было вычислено, что энергия колебания

нейтронной звезды может быть при данных периодах колебания  $\sim 10^{51}$  эрг, так что излучаемая энергия, которая даже при наибольшем расстоянии в 10 тыс. раз меньше, является приемлемой.

Характерный дрейф частоты излучения напоминает солнечные всплески II и III типов, хотя кажется маловероятным, чтобы он происходил таким же образом. Для белых карликов и нейтронных звезд масштаб высоты атмосферы мал, и следует ожидать, что прохождение возмущения вызовет значительно более быстрый дрейф частоты, чем наблюдаемый в действительности. Как уже упоминалось, более вероятная возможность заключается в том, что импульсное излучение претерпевает дисперсию во время прохождения через межзвездную среду.

Совершенно очевидно, что для лучшего понимания этого удивительного нового класса радиоисточников, названных пульсарами, нужно больше данных наблюдений. Если подтвердится предполагаемое происхождение излучения, то можно ожидать, что это прольет свет на свойства сверхплотных звезд (белых карликов или гипотетических нейтронных звезд), а также на свойства материи с огромной плотностью.



Открытие радиозвезд-пульсаров — одно из крупнейших событий последних лет в радиоастрономии и астрофизике. Конечно, если бы обнаруженные импульсы оказались сигналами внеземной цивилизации, как предполагали некоторые обозреватели, это стало бы исключительно важным этапом в познании Вселенной. Но, очевидно, зарегистрированные импульсы имеют естественное, а не искусственное происхождение. Однако и в этом случае предположение авторов открытия, что ими получены сигналы пульсации нейтронных звезд, подтвердило бы существование хотя и предсказанных теоретически, но до сих пор еще не обнаруженных небесных объектов. По-видимому, открыт все же не новый тип звездного населения, а новое интересное свойство уже известных объектов, что само по се-

бе немаловажно. Кроме того, пульсары привлекли внимание радиоастрономов к наблюдениям различных кратковременных импульсов, и на этом пути возможны новые неожиданные открытия.



11 апреля 1968 г. на заседании объединенного московского астрофизического семинара обсуждались вопросы, связанные с открытием пульсаров. Сообщение об имеющихся наблюдениях сделал Н. С. Кардашов; о некоторых данных, полученных на Крымской обсерватории (В. И. Проником, И. И. Проник и К. К. Чуваевым) по цвету звездочки 18-й величины, отождествленной английскими астрономами с пульсаром, рассказал Б. В. Комберг; теоретическую сторону вопроса осветил Я. Б. Зельдович.

В опубликованном выше переводе первого сообщения об открытии пульсаров в качестве возможных источников импульсов предполагаются собственные колебания нейтронных звезд и белых карликов. В действительности же колебания нейтронных звезд не могут объяснить возникновения импульсов с периодом порядка одной секунды, поскольку нейтронные звезды с таким периодом были бы неустойчивы. Это же обстоятельство отмечают американские ученые Торн и Ипсер в присланном ими препринте. Таким образом, если считать, что причиной рассматриваемых периодических импульсов являются колебания звезды, то, по-видимому, источником их может быть лишь белый карлик. Однако колебания белого карлика как целого могут происходить только со значительно большим периодом — около 6—8 сек. Следовательно необходимо рассматривать такие колебания, при которых не весь белый карлик расширяется или сжимается одновременно, а, например, когда в центре происходит сжатие, в то время как на периферии вещество расширяется, и наоборот. По мнению Я. Б. Зельдовича, радиоизлучение с периодом  $\sim 1$  сек. может возникать в результате таких пульсаций, если белые карлики окружены достаточно протяженной атмосферой — короной из горячей плазмы. При радиусе белых карликов

порядка 5 000 км толщина этой атмосферы должна составлять несколько сот километров. Так как гравитационный потенциал у поверхности белого карлика очень велик, то для существования столь протяженной плазменной короны необходимо, чтобы она имела температуру в десятки миллионов градусов. В такой атмосфере могут распространяться звуковые колебания, которые по мере перехода из более плотных в менее плотные слои ускоряются и превращаются в ударные волны. Подобные ударные волны в плазме сопровождаются радиоизлучением и, как заметил В. Л. Гинзбург, одновременно могут приводить к выбросу части вещества. Таким образом, пульсары — это белые карлики, с горячей плазменной атмосферой, в которой по той или иной причине возникли колебания.

Источником энергии этих колебаний (а следовательно, и импульсов радиоизлучения) могут быть либо остаточные эффекты сжатия белого карлика (затухание), либо ядерные реакции в некоторых его слоях.

Альтернативой этому заключению может быть гипотеза И. С. Шкловского (статья находится в печати), сообщенная Я. Б. Зельдовичем. В ней рассматривается возможность перетекания газовой струи от одной компоненты двойной звезды к другой. В этом случае периодические радиоимпульсы могут быть связаны с пульсацией газовой струи.

Первая публикация об открытии пульсаров появилась лишь в феврале текущего года. Сейчас многие радиоастрономы по всей Земле, и в том числе ученые нашей страны, заняты исследованиями в этом направлении. В ближайшие месяцы можно ожидать существенных новых результатов, о которых журнал «Природа» будет систематически информировать своих читателей.



## Камень Вместо металла

Г. М. Давыдов

Кандидат экономических наук

Киев

За последние три десятилетия в нашей стране развилась новая наука петрургия, стоящая на грани многих естественных наук и тесно связанная с народным хозяйством. Она охватывает широкий комплекс вопросов, которые, с одной стороны, связаны с минералогией, петрографией, физико-химией природного сырья, а с другой, — с различными свойствами литых изделий, получаемых из этого сырья. Однако темпы развития петрургии еще не всегда отвечают требованиям современного производства и здесь перед учеными открывается широкое поле деятельности. Что же это за наука и чем она занимается?

Обратимся сначала к истории. Более 100 лет назад в одном русском журнале<sup>1</sup> было опубликовано сообщение о производстве изделий из базальта, горной магматической породы, продукта извержения вулканов. В статье подчеркивалось, что «базальту суждены, кажется, многочисленные промышленные применения... Из этой породы теперь уже готовятся трубы, цилиндры, кирпичи, черепицы, вазы, бутылки для химических заводов, консоли и многие другие изделия». Действительно,

<sup>1</sup> См. «Горный журнал», Изделия из базальта, ч. III, кн. VII, 1854.

заменить дефицитный металл, получить путем его переплавки изделия, которые не уступали бы металлу по качеству — такая идея выглядела весьма заманчиво. Первые опыты плавки базальта, производившиеся во Франции изобретателем Адкомом, не дали положительных результатов. Изделия оказались похожими на непрозрачное стекло, и главное, были хрупки. В этом, видимо, и заключалась основная причина, по которой в то время плавка камня не получила применения на практике.

Более чем через полстолетия — в 1909 г. — там же, во Франции, Франсуа Риббе установил, что если поместить каменный расплав в печь с температурой 900° и затем медленно охлаждать, начинается процесс кристаллизации и «стекло» сначала превращается в «фарфор», а затем и в камень. Последующие опыты показали, что плавленные камни по своим физико-химическим и техническим свойствам значительно превосходят свою первооснову. Такое интересное открытие поставило вопрос

о промышленном применении плавленного базальта.

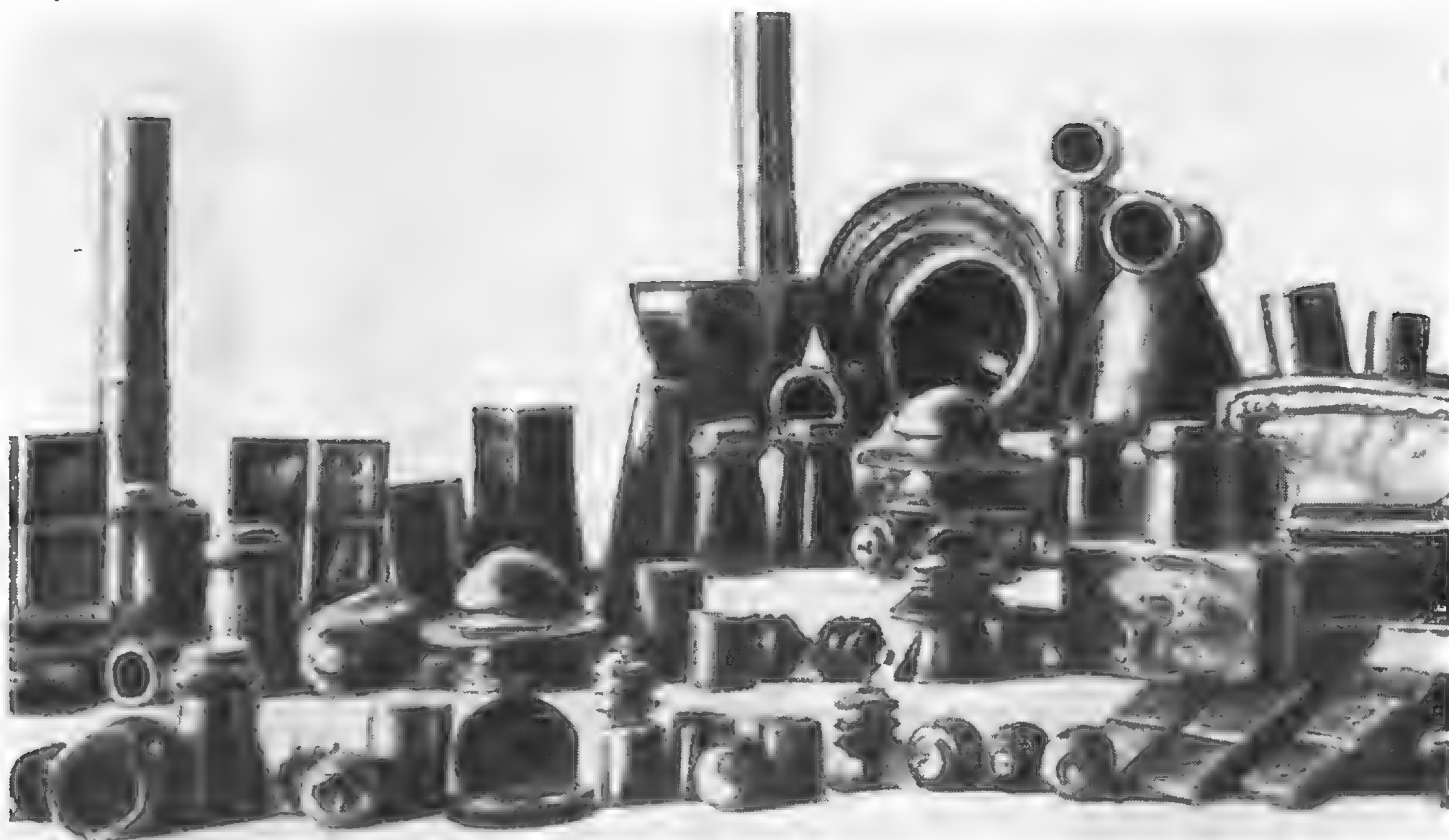
В начале 20-х годов во Франции была создана компания по производству изделий из каменного литья «Компани жeneralь дю базальт». В 1921 г. в предместье Парижа, в местечке Витри, впервые вошел в строй небольшой камнелитейный завод производительностью в 3 тыс. т литья в год. Завод производил главным образом кислотостойкие изделия и изоляторы. Через несколько лет (в 1924 г.) был построен второй завод в г. Пьюи.

Технология производства и технический опыт этих предприятий быстро переносится в Германию, где в эти же годы создается «Акционерное общество Базальт». В г. Линце на Рейне был построен завод каменного литья производительностью 7—8 тыс. т в год. В отличие от французских предприятий здесь производились различные изделия из плавленных базальтов, обладающие высокой сопротивляемостью к истиранию, в основном для замены металлических деталей в устройствах, транспорти-

рующих абразивные материалы. Этим и было по существу заложено начало развитию камнелитейного производства.

Сообщение акад. Ф. Ю. Левинсон-Лессинга, посетившего в 1925 г. камнелитейный завод в Витри, натолкнуло на мысль освоить технологию производства каменного литья в нашей стране. Пионерами в этом деле были ленинградский профессор А. С. Гинзберг, под руководством которого производились в Институте прикладной минералогии лабораторные опыты по получению изделий из плавленного онежского диабаз (изверженной горной породы таких же примерно свойств, как и базальты) и московский профессор П. А. Флоренский, проводивший опытные плавки закавказского базальта на заводе «Изолятор». Так, в скромных лабораториях советских ученых в 1926—1927 гг. начались исследования свойств каменного литья. Это были основы новой науки — петрургии (от греческого «петрос» — камень).

Учитывая зарубежный опыт и ре-



Образцы плавки и литья из базальта

зультаты собственных исследований и экспериментов, ученые настаивали на необходимости создания камнелитейного производства. Однако промышленность в то время не могла еще освоить производства каменного литья и оно на некоторое время неоправданно было забыто.

В 30-х гг., когда в нашей стране развернулись грандиозные стройки, особенно остро ощущался недостаток металла. Вот тут и начались поиски достойных его заменителей. Мысль ученых и инженеров вновь обратилась к камню, к самому распространенному материалу нашей планеты. Воскресла техническая идея — превратить камень в расплав — огненно-жидкую лаву с тем, чтобы она застывала, кристаллизовалась, принимала необходимые формы — т. е. управлять этим сложным технологическим процессом.

Наряду с зачинателями этого нужного и такого важного дела — Ф. Ю. Левинсон-Лессингом, А. Е. Ферсманом, А. С. Гинзбергом и П. А. Флоренским появилась новая плеяда ученых и практиков — энтузиастов каменного литья.

Большую работу по пропаганде проблем петрургии провел В. В. Обручев. В 30-х гг. он выступает с оригинальными статьями в периодических научных и научно-популярных изданиях и газетах, опираясь на научные исследования, показывает огромное народнохозяйственное значение применения каменного литья во многих отраслях производства, поднимает эти вопросы до уровня государственных задач. Большой заслугой В. В. Обручева как ученого было и составление им широкой по тем временам библиографии по вопросам петрургии. Первая научная информация способствовала развитию научных исследований и экспериментов в этой области.

С тех пор прошло много лет. Теперь ни для кого не секрет, какое большое дело было задумано нашими учеными. Ведь достаточно побывать на любом из химических заводов или горнообогатительных комбинатов, чтобы убедиться, насколько быстро порой изнашивается металлическое оборудование и аппарату-

ра. Можно напомнить, что потеря металла от коррозии и в результате износа ежегодно составляют 4—5 млн. т. А ведь значительную часть чугуна, стали, а также цветных металлов можно сохранить для других, более важных целей.

Каменное литье — надежная защита от разрушающего воздействия на оборудование различных агрессивных сред — соляной, серной и азотной кислот, едких солей и щелочей. Это мощное средство защиты от механического истирания деталей. Нельзя забывать и о долговечности изделий из каменного литья в производственной эксплуатации. Например, срок службы металлических трубопроводов на обогатительных предприятиях не превышает 6 месяцев, такие же трубы из каменного литья действуют 10 лет.

Широкое применение каменного литья в народном хозяйстве в условиях новой экономической реформы сулит огромные выгоды: сбережение только 1% металла дает дополнительно народному хозяйству примерно 700 тыс. т металла в год. Если же учесть темпы развития народного хозяйства в ближайшие годы, а следовательно и потребность в металлах, то размеры такой экономии резко возрастут. Изделия из каменного литья — не только заменители металлов, это и новые материалы, значительно превосходящие естественный камень, металлы, специальные сплавы, стекло, фарфор и дерево по кислотоупорности, щелоче- и морозоустойчивости, стойкости против истирания и коррозии, диэлектричности, механической прочности и т. д., а следовательно по долговечности и, что особенно важно, по экономичности.

Срок эксплуатации металлического оборудования, защищенного каменным литьем, как показывает многолетняя практика, увеличивается в 3—15 раз, в зависимости от различных условий. На каждой тонне каменного литья экономится от 3 до 7 т металлов или от 300 до 700 руб. Сырьевая база каменного литья в нашей стране велика. Месторождения изверженных кристаллических пород распространены во многих

местах: базальты на Украине, в Армении, Грузии, на Дальнем Востоке; диабазы и габбродиабазы в Карельской АССР, Ленинградской, Мурманской, Оренбургской, Пермской областях, на острове Сахалин; траппы — в Восточной Сибири; и др. Все они могут разрабатываться открытым способом, что значительно удешевляет добычу.

Успешное решение проблемы каменного литья способствует вовлечению в хозяйственный оборот новых выгодных сырьевых баз, созданию на их основе новых отраслей общественного производства, ускоряющих научно-технический прогресс страны. Теперь исследования вопросов петрургии из некогда начинавшихся отдельных экспериментов в скромной лаборатории Ленинградского института прикладной минералогии вышли на широкие просторы нашей Родины. На географической карте СССР можно обозначить уже десятки пунктов, где сосредоточены исследования: Москва, Ленинград, Киев, Львов, Харьков, Днепропетровск, Донецк, Кривой Рог, Коммунарск, Ростов-на-Дону, Свердловск, Челябинск, Иркутск, Петрозаводск, Мончегорск, Минск, Ереван, Каунас, Вильнюс и др. С каждым годом научный интерес к проблеме петрургии возрастает. Сейчас намечены основные направления дальнейших исследований<sup>1</sup>. Получило некоторое развитие и промышленное производство каменного литья. Предприятия производят десятки тысяч тонн продукции в год. Однако это лишь начало большого и нужного дела. В ближайшие годы необходимо расширить развитие этой новой отрасли производства, создав предприятия в тех районах страны, где уже сейчас определены для этого благоприятные природно-географические условия и технико-экономические предпосылки.

УДК 679;8.06

<sup>1</sup> В марте 1967 г. в Донецке состоялось третье Всесоюзное научно-техническое совещание, созванное Академией наук УССР.

# Деревья — индикаторы склоновых процессов

В. И. Турманина  
Московский государственный  
университет им. М. В. Ломоносова

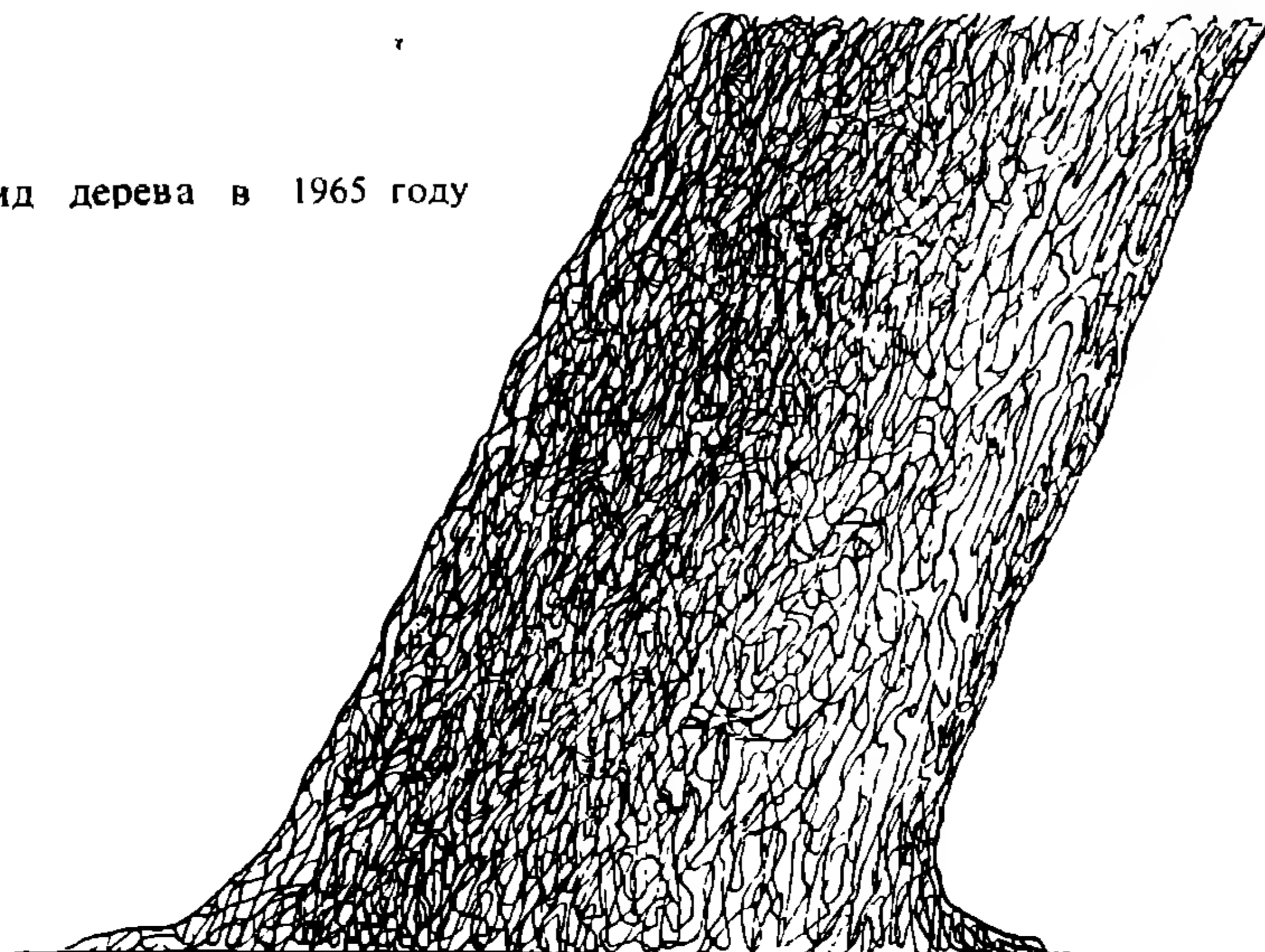
Издавна люди подметили, что качество древесины, а следовательно и возможности ее использования зависят не только от породы дерева, но и от условий его произрастания. Особенности отложения годичных слоев широко используются сейчас для восстановления климатов прошлого. Развитие аэрофотометодов позволило применять лесные сообщества в целом для определения скрытых лесом компонентов среды.

Мы рассмотрим возможности опознавания по растительности склоновых процессов, изучение которых особенно важно при освоении пересеченных местностей. Здесь возникает необходимость одновременного анализа индикационных возможностей лесных сообществ в целом и более углубленного анализа морфологических особенностей деревьев и анатомических черт строения древесины.

Кто из исследователей склоновых процессов не мечтал увидеть движение оползня, селевой поток или хо-

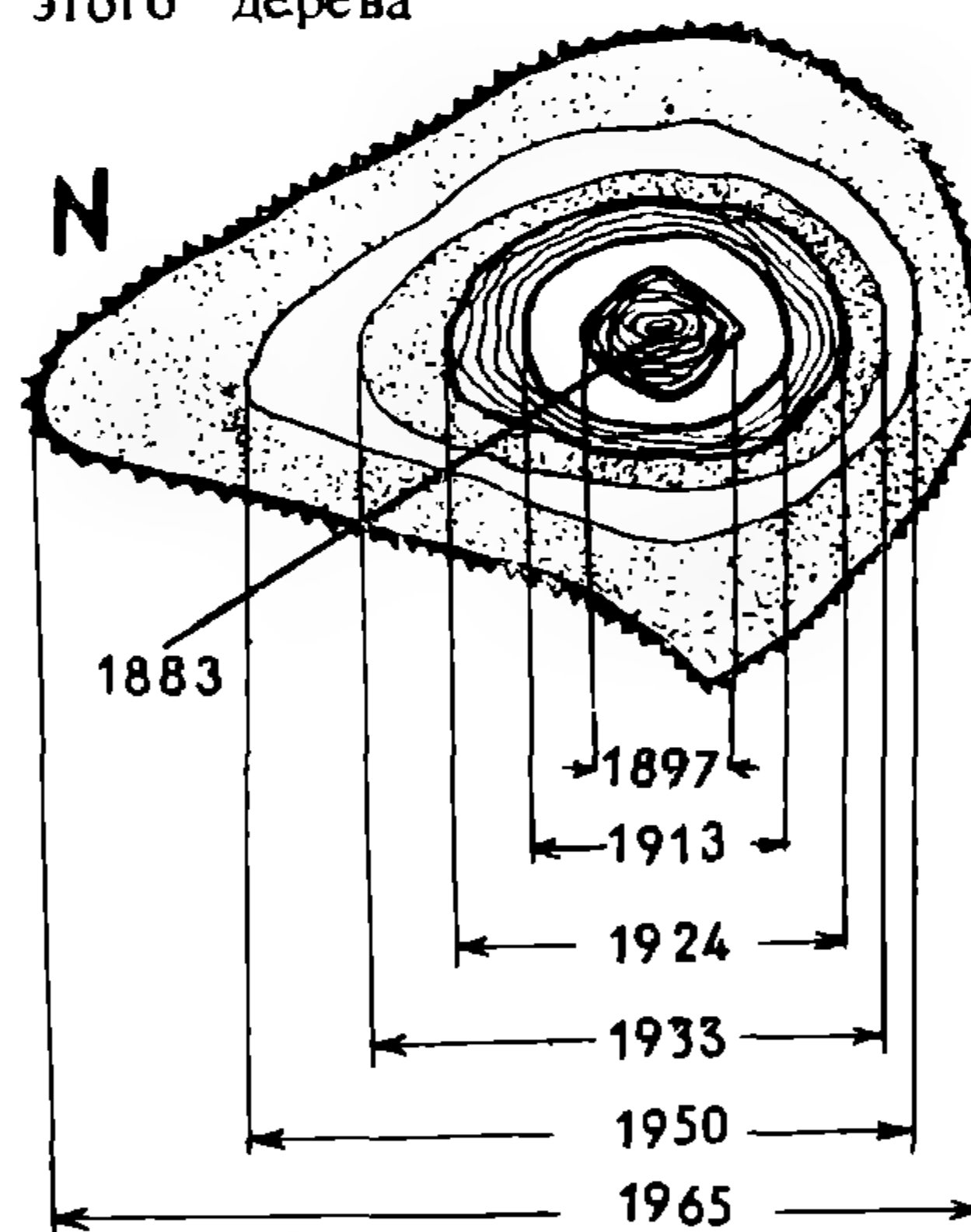
| изменения угла наклона дерева |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| год                           | 1958 | 1959 | 1960 | 1961 | 1962 | 1963 | 1964 | 1965 |
| наклон к горизонту            | 69°  | 69°  | 69°  | 69°  | 69°  | 66°  | 65°  | 64°  |

вид дерева в 1965 году

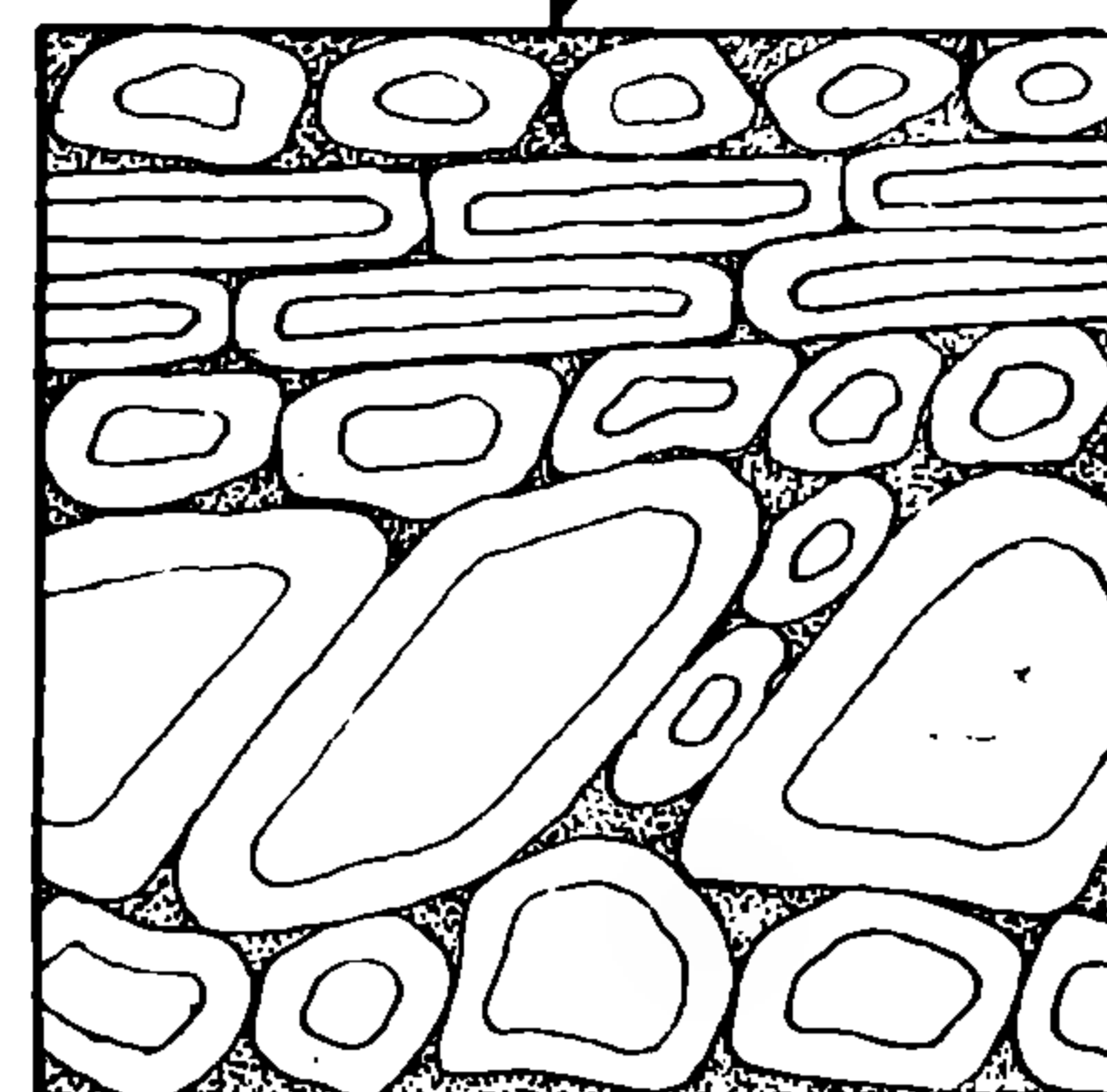
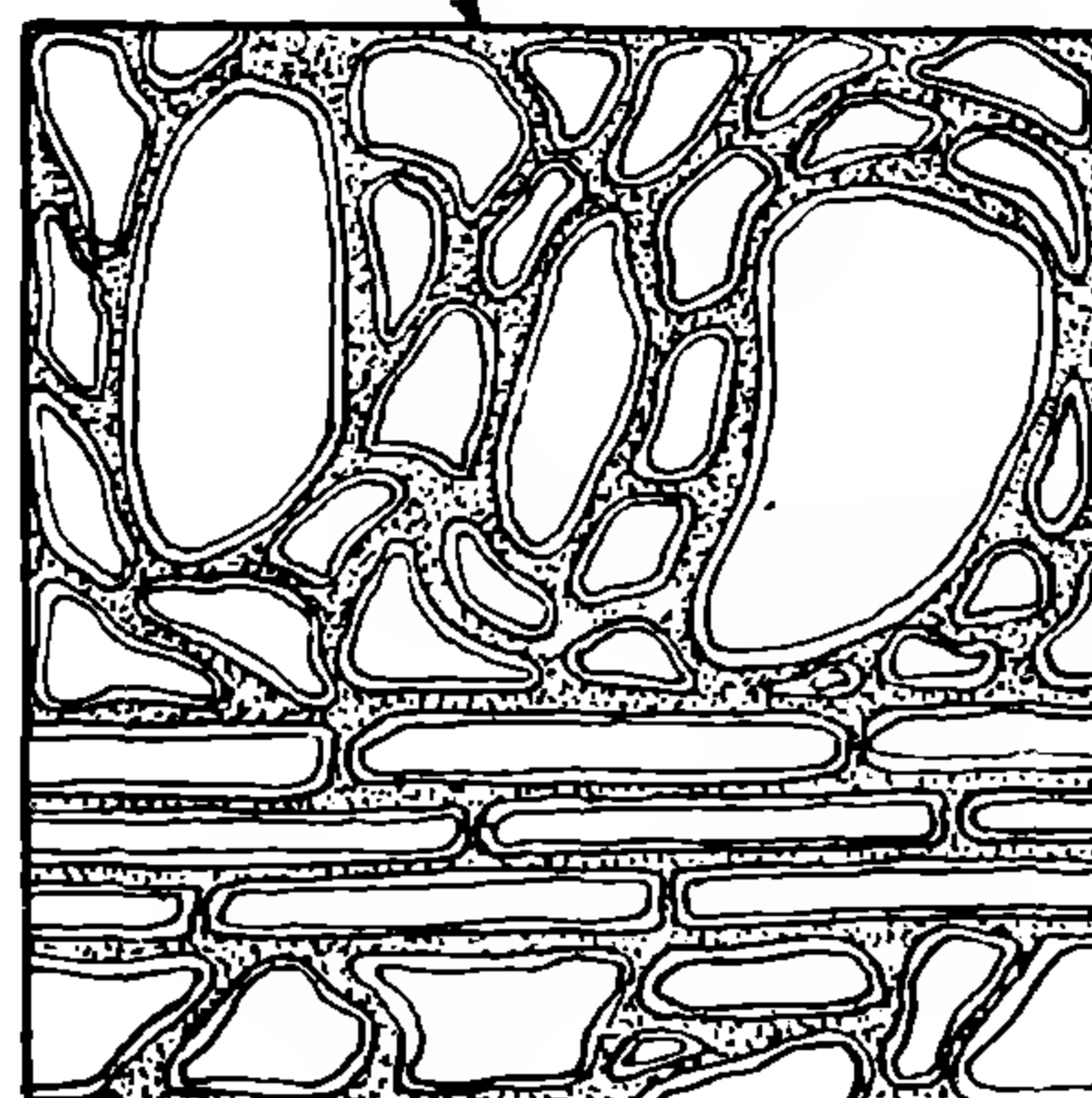


внешнее кольцо тяговой древесины

спил этого дерева



внешнее кольцо креповой древесины



Характер отложений асимметричных годичных колец липы мелколистной, произраставшей на оползневом склоне Ленинских гор в Москве. Приводимое в качестве примера дерево периодически увеличивало свой наклон (табл.). Данные спила показали, что это происходило и в прошлом (1897—1913 гг.), после чего, дерево на какой-то отрезок времени восстановило вертикальность. Ширина годичного кольца 1965 года с тяговой стороны в четыре раза превышает ширину этого кольца с креповой стороны, причем перестройка начинается на клеточном уровне

тя бы сползание небольшой оплывины? Тем не менее застать эти процессы в кульминационный момент развития практически невозможно, так как продолжительность их исчисляется порой минутами и секундами. И деревья очень часто являются единственными живыми свидетелями стихийных бедствий, разыгрывающихся в природе. Благодаря своей способности реагировать на них изменением формы и строения, подчас именно деревья могут поведать миру о датах оползней или селей.

Прежде всего на устойчивость или подвижность склонов может указывать видовой состав древесных насаждений, который хорошо распознается по аэрофотоснимкам. На участках, подверженных периодическому действию склоновых процессов, обычно не растут древесные породы, которые не выносят механического воздействия и требуют длительного времени для своего развития. Прежде всего это относится к ели и дубу. Береза, ива, тополь, ольха, бук и в меньшей степени сосна способны выдерживать развитие некоторых склоновых процессов. Кроме того, береза, сосна, ива, тополь дают всходы в первые же месяцы после завершения процесса. К десяти годам они уже создают аспект участков, а затем, на протяжении 60—100 лет, эти леса могут указывать на происшедшее в данном месте нарушение растительного покрова.

Наиболее бросающимися морфологическими признаками для деревьев, подвергавшихся действию склоновых процессов, являются отклонения в форме ствола, строении ветвей и корней, расположении поврежденных мест на коре, характере трещин стволов. В наклоненных деревьях происходят и глубокие внутренние изменения, выражающиеся при наблюдении простым глазом в асимметричном отложении годичных колец. Наблюдения же при помощи микроскопов разных систем показали, что изменениям подвергаются сами клетки, у которых создается, в частности, особый слой в клеточных оболочках. Для лиственных пород характерно уменьшение ширины годичных колец с креновой стороны и

увеличение их ширины с тяговой<sup>1</sup>, а для хвойных, наоборот, креновые кольца бывают более широкими. Одним из наиболее распространенных склоновых процессов является медленное сползание поверхностных почвенных горизонтов, вызывающее саблеобразную изогнутость нижних частей стволов, рост ветвей преимущественно в направлении, противоположном смещению, развитие асимметрии стволов. Подобные изменения особенно характерны для липы, бука, ели. У дуба и вяза изогнутость стволов встречается реже. У этих пород на склонах образуются своеобразные корни-подпорки, имеющие нередко «продолжение» в виде выступов стволов. Для спилов подобных деревьев типично систематическое отложение асимметричных годичных колец, так как и сползание происходит систематически в периоды переувлажненности грунтов.

Наиболее ярким примером эпизодического воздействия склоновых процессов может служить сход лавин. Непосредственно в лотках схода лавин завал деревьев и кустарников происходит так часто, что выдержать его могут только ивы, в меньшей степени — рябины, березы, осины, образующие почти ежегодно вертикальные побеги от завалившихся стволов. Если сход лавин происходит с интервалом в несколько лет, на заваленных стволах вырастают вертикальные побеги, возраст которых указывает на год последнего схода лавины. На периферии лавинных конусов появляются вертикально растущие березы, сосны, ели, носящие на себе следы схода более редких лавин. Влияние лавин можно проследить и на этих деревьях по некоторой изогнутости стволов (при общей вертикальности), по следам сбитостей. Сходные морфологические изменения вызывают и сели — завал деревьев, следы повреждений на коре, а кроме того, налет глинистых частиц на стволе при грязевых селях.

Оползневые участки издавна опре-

<sup>1</sup> Креновая древесина образуется с той стороны, в которую дерево наклонено, т. е. имеет крен. Тяговая древесина расположена с противоположной стороны.

делялись по «пьяному лесу», деревья в котором имеют самые разнообразные наклоны. Однако следует заметить, что при глубоких оползнях отдельные деревья и целые участки леса могут перенести смещение на 30 и даже 50 м без изменения наклона. В то же время бывают случаи, когда деревья приобретают наклон (пьяный лес) и до того, как произойдет основное оползневое смещение.

Наблюдения, проведенные на Московской оползневой станции, показали, что деревья периодически «заваливаются» весной и осенью, когда грунты сильно переувлажнены, а затем зимой и летом стремятся восстановить вертикальность стволов, чтобы сохранить равновесие и нормальное освещение солнцем. У некоторых деревьев образуются трещины, которые периодически то увеличиваются, то заплывают, в зависимости от «жизни» оползня.

По морфологическим признакам можно судить и об объемах материала, выносимого оползневыми процессами. Суммарная величина сползающего со склонов рыхло-обломочного материала при поверхностных смещениях может быть оценена по величине «языков» из этого материала, скапливающегося на склоне выше основания дерева. Превышение относительных отметок выше и ниже дерева, разделенное на его возраст, даст величину ежегодного сноса.

При дендрохронологическом анализе спилов деревьев, переживших действие склоновых процессов, важно выделить особенности отложения годичных колец, абстрагируясь от изменений, вызываемых общеклиматическими колебаниями. Это достигается делением величины кольца по креновому радиусу на тяговую для хвойных пород, и тяговой на креновой для лиственных. По изменению получаемой таким образом величины, названной коэффициентом крени, можно судить о периодах активизации того или иного процесса в прошлом. Например, анализ спилов сосен Гара-Башинского селевого конуса в Приэльбрусье показал, что здесь сели проходили в 1786, 1795, 1802, 1812, 1817, 1830, 1840, 1845.

1854, 1859, 1868, 1871, 1881, 1887, 1896, 1904, 1910, 1912, 1917, 1921, 1930, 1938, 1941, 1944, 1947, 1956, 1966 гг. (Нельзя не заметить, что годы прохождения селей в 60% совпадают с годами повышенной солнечной радиации.) Период активизации некоторых оползней Ленинских Гор в Москве можно отнести к началу нашего века. В целом же при датировке склоновых процессов методом дендрохронологии точность результатов всецело зависит от правильного выбора модельных деревьев и расшифровки получаемых на графиках линий коэффициента крени.

УДК 582.4 9:54—43

## Черноплодная рябина

В. И. Проценко

Алтайская опытная станция садоводства им. М. А. Лисавенко (Барнаул)

Еще 20 лет назад рябину, или аронию черноплодную можно было встретить лишь в дендрариях, а сейчас насаждения этой культуры в нашей стране занимают уже тысячи гектаров. Растение это пользуется большой популярностью у садоводов-любителей в Западной Сибири, на Урале, в Подмосковье, Прибалтике и Белоруссии.

Взрослые экземпляры черноплодной рябины образуют многочисельные раскидистые кусты высотой до 2 м и с основанием до 1 м в диаметре. Простые листья овальной формы, блестяще-зеленые летом и багряные осенью, резко отличаются от листьев красавицы наших лесов — рябины обыкновенной. Об отдаленном родстве этих видов свидетельствует только сходство в строении цветков, собранных в плотные щитковидные соцветия. Округлые, более 1 см в поперечнике, плоды в период полного созревания покрываются сизоватым восковым налетом. Они лишены всякой горечи и вполне съедоб-

ны в свежем виде, хотя значительное содержание дубильных веществ и придает им иногда вяжущий привкус.

Вместе с двумя другими видами аронии черноплодная образует отдельный ряд семейства розоцветных, дикие формы которого произрастают на обширной территории восточных районов североамериканского континента. В Россию черноплодная рябина была завезена в начале XIX в. Многолетние опыты по акклиматизации в ботанических садах Москвы, Петербурга и Риги выявили ее хорошую приспособляемость к новым условиям жизни. Правда, в суровые малоснежные зимы кусты черноплодной рябины сильно подмерзали, но затем быстро восстанавливались. Родственные ей виды аронии — арбутусолистная и сливолистная — оказались менее зимостойкими и давали мелкие сухие плоды. Поэтому дендрологи и лесоводы отдали предпочтение рябине черноплодной и начали ее широко использовать в декоративном садоводстве. В конце прошлого столетия черноплодной рябиной заинтересовался Иван Владимирович Мичурин. Он выписал черенки этой породы из Германии, укоренил их и впоследствии использовал в селекционной работе. В 1905 г. в саду И. В. Мичурина дал первые плоды гибрид, полученный от скрещивания рябины обыкновенной с черноплодной. За отличный вкус плодов новый сорт рябины получил название «ликерная». Одновременно И. В. Мичурин пришел к выводу, что черноплодная рябина может представить большой интерес для северного садоводства.

### Рябина на Алтае

В 1935 г. М. А. Лисавенко, в то время возглавлявший Горно-Алтайский опорный пункт плодово-ягодных культур, привез из Мичуринска в Горно-Алтайск черенки сладкоплодных сортов рябины: десертной и гранатной, выведенные И. В. Мичуриным, а также моравской, промежуточной, ариа, обыкновенной и черноплодной.

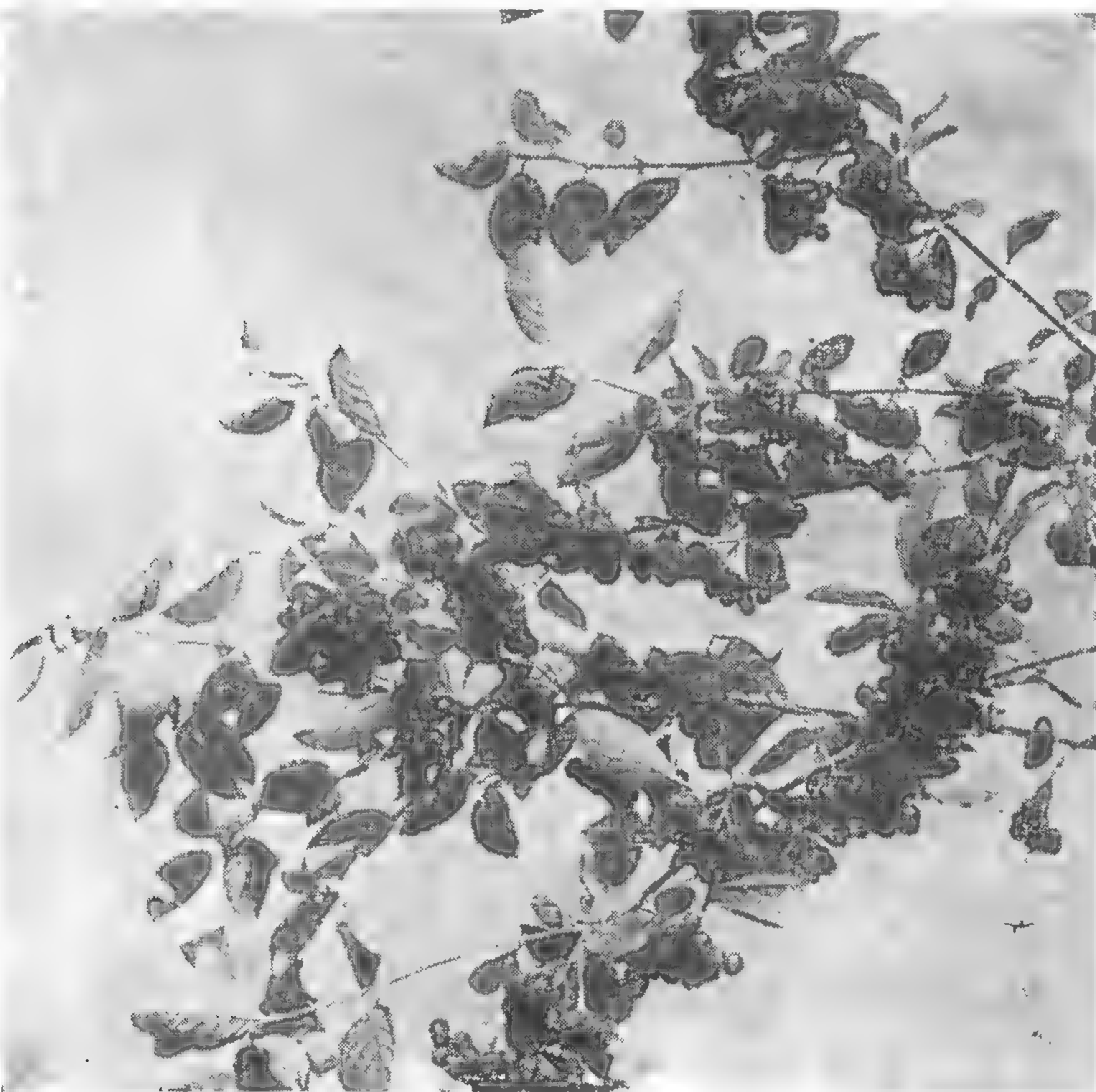
Уже наблюдения первых лет показали, что наиболее перспективной культурой в условиях низкогорий Алтая следует признать рябину черно-

плодную. Низкорослые кусты ее не повреждались морозами, так как полностью укрывались обильным снегом уже в начале зимы. Другие сорта и виды рябины из-за высокого роста и слабой зимостойкости сильно страдали от морозов даже в не слишком суровые зимы. Ценными для Сибири свойствами черноплодной рябины оказались и ее позднее цветение (обычно наступающее уже после весенних заморозков, в конце мая), и раннее плодоношение (на пятый год жизни), и быстрое нарастание урожая по мере роста кустов, и высокая устойчивость к вредителям и болезням. Одновременно была выявлена и другая ценная особенность — однородность растений при размножении семенами.

В 1942 г. на участке производственного испытания было высажено 1000 кустов рябины черноплодной. С этого времени ее посадки на Алтайской опытной станции садоводства непрерывно расширялись. С 1946 г. рябина была включена в районированный сортимент плодово-ягодных культур Алтайского края. Благодаря массовому выпуску питомниками Станции саженцев и семян, новая садовая порода быстро распространилась и за пределами Сибири. Так возник вторичный очаг промышленной культуры черноплодной рябины в Ленинградской области, куда в 1947 г. из Горно-Алтайска по инициативе проф. Н. Г. Жучкова было отправлено 20 тыс. саженцев. Сейчас эта ценная садовая порода районирована в 13 краях и областях РСФСР.

### Несколько советов садоводу

Рябина черноплодная неприхотлива к почве и одинаково хорошо растет на различных по плодородию участках. Однако при закладке плантаций необходимо учитывать повышенную требовательность этой культуры к влаге и свету. Рябину не следует размещать в затененных междурядьях плодовых насаждений или на сухих крутых склонах. В любительском саду ее лучше всего высаживать рядами вдоль изгороди на расстоянии 2—2,5 м друг от друга. Кусты быстро разрастаются и в 8—10-летнем возрасте, смыкаясь кронами, образуют сплошную ленту. Уро-



жай с одного куста в этом возрасте достигает в среднем 5—7, а в отдельных случаях до 10—12 кг плодов.

Успешное выращивание рябины, особенно в Сибири, возможно лишь в сочетании с искусственной защитой растений на зиму. Приемы такой защиты довольно просты: осенью, незадолго до промерзания почвы, стволы пригибают как можно ниже и вершины приваливают землей. По мере выпадения снега кусты окучивают до тех пор, пока они не будут полностью укрыты. В условиях более мягкого климата, в Белоруссии или Подмосковье, можно ограничиться лишь окучиванием основания кустов снегом.

Обладая исключительно высокой восстановительной способностью, черноплодная рябина при сильном обмерзании вновь формирует надземную часть и уже на третий год начинает снова приносить урожай, который в дальнейшем быстро нарастает. Вообще в течение всего продуктивного периода, на протяжении 20—25 лет, происходит периодическое омолаживание кустов. Ветви в возрасте 8—9 лет, как правило, дают слабый прирост, сильно оголяются и усыхают, поэтому их необходимо вырезать. Посредством обрезки нужно поддерживать равное соотношение между разновозрастными стволами, их общее количество в кусте не должно превышать 40—50. Омолаживание растения осуществляется за счет наиболее сильнорослых корневищных отпрысков, которые в большом количестве появляются в зоне корневой шейки ствола. Старые, чрезмерно загущенные кусты сильно снижают свою продуктивность. У таких кустов почти весь урожай размещается по периферии кроны, при этом плоды заметно уменьшаются в размерах.

**Витамин, краситель и сырье для виноделия**

В чем же ценность рябины черноплодной как новой садовой культуры? Прежде всего, в разнообразии

---

Черноплодная рябина в цвету (вверху)  
Плодоносящая ветвь (внизу)  
Фото М. Фатериной

химического состава ее плодов. Они содержат углеводы, кислоты, дубильные и пектиновые вещества, минеральные соли и большой набор витаминов. Рябину черноплодную можно использовать самым разнообразным образом — как в свежем, так и консервированном виде (варенье, джем, мармелад). Кроме того, ее плоды служат ценным сырьем для выработки высококачественных диетических соков, вина, наливки. Натуральный сок рябины, благодаря устойчивому темно-рябиновому цвету, можно использовать для подкрашивания сиропа при изготовлении варенья из мелкоплодных сибирских яблочек. Хорош сок и для варки киселя, желе. Из сока черноплодной рябины Горно-Алтайский винный завод вырабатывает марочное десертное вино.

Для длительного хранения в сушеном или мороженом виде плоды рябины срезают целыми щитками. К середине зимы плоды становятся значительно вкуснее, поскольку в них резко падает содержание дубильных веществ и кислот, а количество сахаров возрастает. Хорошо сохраняется в сушеных и мороженых плодах витамин Р, по содержанию которого рябина черноплодная значительно превосходит все известные плодово-ягодные растения. Это настоящий клад для витаминной промышленности. Бийский витаминный завод на Алтае освоил промышленный выпуск таблеток витамина СР. Сырьем для них служит сухой жом — побочный продукт переработки плодов рябины на сок и синтетическая аскорбиновая кислота. Оказалось, что содержание витамина Р в жоме в 5—7 раз выше, чем в свежих плодах рябины, а его биологическая активность не уступает аналогичным дорогостоящим препаратам из листьев чайного куста.

Не менее перспективно использование плодов черноплодной рябины и в пищевой промышленности. При комплексной переработке на натуральный сок и препараты витаминов Р, СР можно, благодаря значительному содержанию антоцианов, одновременно получать и безвредный для здоровья человека пищевой краситель.

## Загадка «сибирской тьмы»

Ю. М. Емельянов

Кандидат химических наук  
Московский государственный  
университет им. М. В. Ломоносова

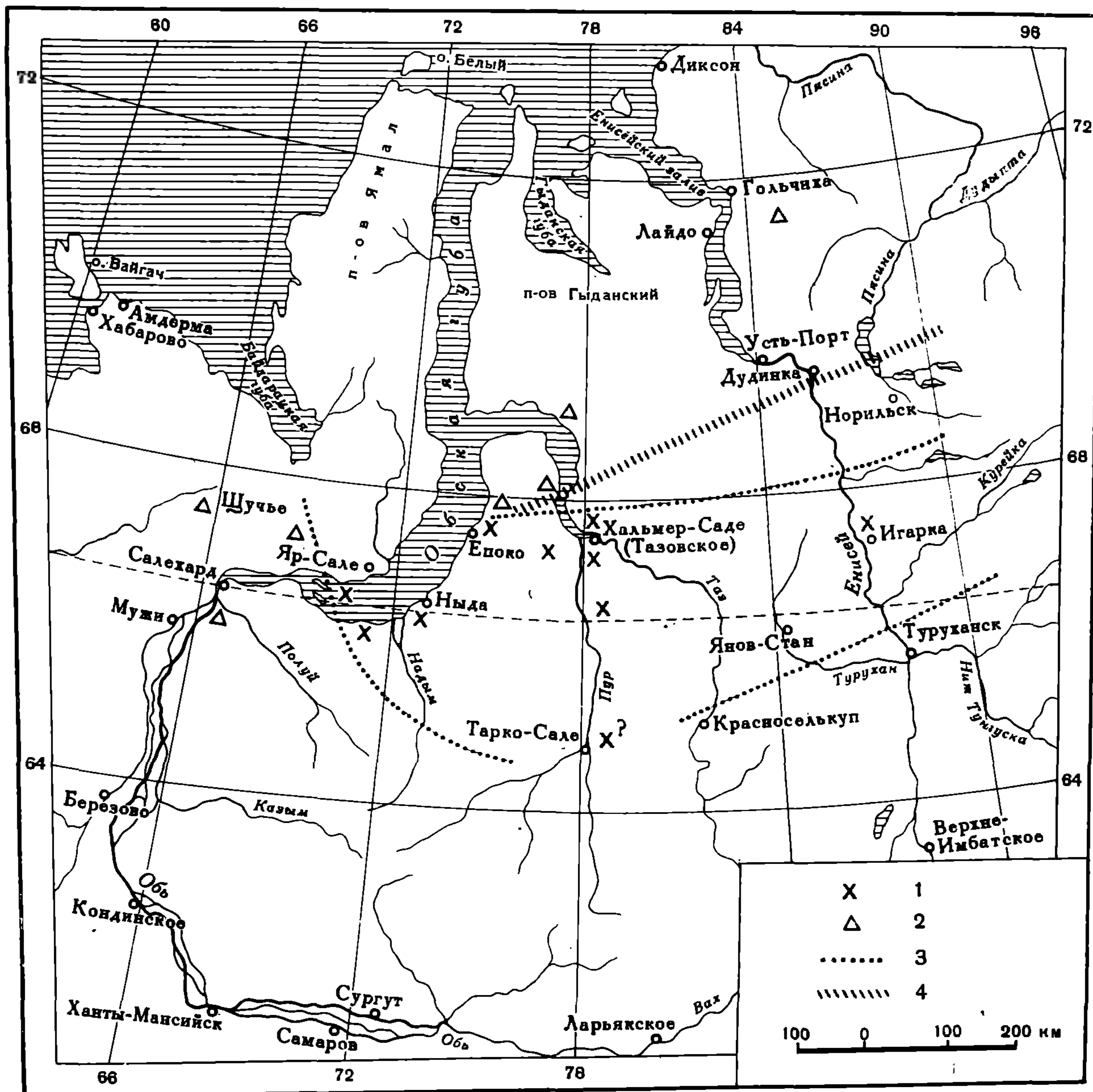
## Дискуссии

18 сентября 1938 г. на значительной территории Ямало-Ненецкого национального округа и в северной части Красноярского края (Таймырский национальный округ) произошло своеобразное затмение, получившее впоследствии название «сибирской тьмы». Оно длилось несколько часов и во многих пунктах сопровождалось практически полной темнотой.

Первое описание «затмения» было дано В. Н. Андреевым в журнале «Природа»<sup>1</sup>; им же была составлена карта распространения этого явления (см. рис.). Вся область, охваченная «тьмой», представлялась в виде полосы, вытянутой с запада на восток (с некоторым отклонением к северу). Северная ее граница, по мнению В. Н. Андреева, проходила почти по 68° с. ш., лишь слегка отклоняясь от этой параллели во время движения на восток, к северу. Таким образом, эта полоса к востоку заметно сужалась.

В феврале — марте 1963 г. мне довелось побывать в Норильске и в Дудинке, где удалось собрать некоторые дополнительные данные о «сибирской тьме». В публикации В. Н. Андреева не говорилось о наблюдениях в этих районах. В разное время

<sup>1</sup> «Природа», 1940, № 2, стр. 62.



Район распространения «сибирской тьмы» 18 сентября 1938 г. Пункты, отмеченные В. Н. Андреевым, где наблюдалось (1) и не наблюдалось (2) «затмение»; границы «сибирской тьмы» по определению В. Н. Андреева (3); уточненная северная граница «затмения» (4)

мною были опрошены старожилы Норильска и Дудинки, сообщившие ценные сведения. Результаты опроса приведены в табл. 1.

В Дудинке архивные метеорологические данные 1938 г., к сожалению, не сохранились. Однако сотрудник станции П. И. Кузьмин вспоминал, что в свое время при обработке этих материалов он встречал упоминание

о красно-желтой мгле в южной четверти горизонта. По его словам, солнце было закрыто мглой, но хорошо просматривалось сквозь нее.

В Норильском журнале метеонаблюдений за 1938 г. в записи от 18 сентября, в частности, сказано, что с 14 до 16 час. наблюдалось «сильное потемнение неба с желтым оттенком». Эти данные также включены в табл. 1.

Таким образом, собранные сведения убедительно показывают, что «сибирская тьма» распространялась и на эти районы. Но так как интенсивность «потемнения» здесь (особенно в Дудинке) была значительно меньше, чем в районе устьев рек Оби и Таза, следует признать, что именно здесь, в районе Дудинки и Норильска, проходил северный край полосы «затмения».

## Сообщения старожилов Норильска и Дудинки о характере «затмения»

| Наблюдатель и место наблюдения                                                            | Начало и продолжительность потемнения                                                | Степень и цвет потемнения                                                                                          | Направление движения черного облака                                                                    | Запах и присутствие посторонних частиц            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Павлов Григорий<br>Алексеевич<br>Норильск                                                 | «Среди дня стало сильно темнеть. Затмение продолжалось несколько часов»              | «Освещение словно в сильные сумерки. Цвет освещения темно-оранжевый. Словно солнце пробивалось»                    | «С запада»                                                                                             | «Посторонних запахов заметно не было»             |
| Самбурский Александр Львович<br>Норильск                                                  | «Темнота наступила в 11 час. дня и продолжалась около часа»                          | «Стало совсем темно, как в полярные сумерки. Как будто все закрыло облако тумана или пыли темно-коричневого цвета» | «Облако шло с Дудинки (с ЗСЗ)»                                                                         | «Дымом не пахло»                                  |
| Старицкий Георгий<br>Георгиевич<br>Норильск                                               | «В 3—4 часа дня внезапно потемнело. Затмение продолжалось 15—20 минут»               | «Равномерная мгла. На месте, где было солнце, виднелось красное затмительное свечение»                             | Направление движения облака наблюдатель не помнит. Отмечает только, что северо-запад был более светлым | «Посторонних запахов заметно не было»             |
| Тростин<br>Норильск                                                                       | «Потемнело в середине дня, темнота держалась долго»                                  | «Равномерная мгла, через которую просвечивал слабый контур диска Солнца»                                           | —                                                                                                      | «Запаха не было»                                  |
| Лепетченко Дмитрий<br>Савельевич<br>Дудинка                                               | «Мгла появилась после обеда и держалась довольно долго (в течение нескольких часов)» | «Желтоватая мгла вверху»                                                                                           | «Мгла появилась с запада, со стороны острова Кабацкого»                                                | «Пыли и запаха не было»                           |
| Чабан Иван Андреевич<br>Дудинка                                                           | «Явление было продолжительным»                                                       | «Небольшая облачность в виде жидкого тумана. Через нее видно солнце»                                               | «Явление наблюдалось на юге»                                                                           | «Запаха не было»                                  |
| Кузьмин Петр Иванович (по памяти об описании явления в материалах метеостанции в Дудинке) | —                                                                                    | «Сквозь мглу хорошо просматривалось солнце. Освещение в это время было красно-желтым»                              | «Явление наблюдалось в южной четверти горизонта»                                                       | «Ощущался запах гари. В воздухе была пыль (зола)» |
| Из журнала метеонаблюдений (г. Норильск) оз. Долгое                                       | «С 14 до 16 часов»                                                                   | «Сильное потемнение неба с желтым оттенком»                                                                        | —                                                                                                      | —                                                 |

## Скорость распространения «затмения»

| Населенный пункт        | Часовой пояс | Местное время     |                            | Московское время  |                      |
|-------------------------|--------------|-------------------|----------------------------|-------------------|----------------------|
|                         |              | Начало «затмения» | Окончание «затмения»       | Начало «затмения» | Окончание «затмения» |
| Ныда                    | V            | 9 час.            | 11 час.                    | 7 час.            | 9 час.               |
| Хальмер-Седе            | V            | 8 час. 30 м.      | 14 час.                    | 6 час. 30 м.      | 12 час.              |
| Игарка                  | VI           | 13 час.           | 17 час.                    | 10 час.           | 14 час.              |
| Норильск (озеро Долгое) | VI           | 13 час. 30 м.     | 16 час. 30 м. <sup>1</sup> | 10 час. 30 м.     | 13 час. 30 м.        |

В то время как в южных частях Обской и Тазовской губ. потемнение было практически полным, «...небо и земля не отличались друг от друга по освещению и окраске: все казалось однородным, черным, абсолютно лишенным света»<sup>2</sup>, в Норильске полной темноты не было, и все очевидцы вспоминают лишь о сильных сумерках, сравнивая их с «полярными сумерками». Кроме того, все очевидцы упоминают об окраске неба в желто-красно-коричневые тона.

По-видимому, более правильным следует считать северной границей «сибирской тьмы» линию, проходящую от Епоко (восточное побережье Обской губы) к Дудинке (чуть южнее последней) и дальше севернее Норильска, через южную часть озера Пясино (см. карту). При взгляде на карту видно, что ширина полосы «затмения» практически не изменяется с движением облака на восток. На всем известном протяжении она составляет 300—320 км. Такая форма полосы

«затмения» более правдоподобна, чем сужающаяся к востоку. В связи с уточнением границ полосы «затмения» представляется возможным уточнить и направление движения черного облака: восток-северо-восточное (азимут 69—70°).

Располагая данными о времени начала и окончания «затмения» в различных пунктах (табл. 2), можно сделать попытку оценить хотя бы приближенно скорость его распространения, а следовательно, и скорость движения черного облака. Для этого удобно сопоставить, например, время начала «затмения» в Хальмер-Седе (6 час. 30 мин. по московскому времени) и в Норильске (10 час. 30 мин.). Расстояние между Хальмер-Седе и Норильском  $\approx 440$  км. Отсюда легко получить скорость движения черного облака ( $440 \text{ км} : 4 \text{ час.} = 110 \text{ км/час.}$ )

Аналогичный результат дает также сопоставление времени окончания «затмения» в Ныде и в Хальмер-Седе ( $270 \text{ км} : 3 \text{ час.} = 90 \text{ км/час.}$ ). Сопоставление времени окончания «затмения» в Ныде и Игарке (расстояние около 600 км) дает скорость распространения облака  $600 \text{ км} : 5 \text{ час.} = 120 \text{ км/час.}$  Учитывая малую точность определения момента начала и окончания «затмения» ( $\approx 30$  минут), полученные результаты можно считать удовлетворительными.

Следует обратить внимание на тот факт, что «затмение» в Ныде и в Хальмер-Седе началось практически одновременно; в Хальмер-Седе даже примерно на полчаса раньше, несмотря на то, что этот населенный

пункт расположен в 270 км к северо-востоку от Ныды.

Эти данные позволяют допустить, что черное облако появилось почти одновременно над всей западной частью полосы «затмения» (возможно, даже в форме более или менее правильного круга диаметром около 300 км).

Точность оценок скорости движения черного облака в большой мере зависит от правильности этого предположения. Наиболее точными эти результаты были бы в том случае, если бы формирование облака закончилось одновременно над всей территорией западной части полосы «затмения». Но если, например, в Ныде этот процесс закончился несколько раньше, чем в Хальмер-Седе (что вполне вероятно, так как Ныда расположена близко от западной границы полосы «затмения»), то тогда оценка скорости движения облака по времени окончания «затмения» в этих пунктах будет заниженной. Вероятно, облако было неоднородным и состояло из нескольких частей. В. Н. Андреев, например, при описании явления в Хальмер-Седе упоминает о просветлении после полного потемнения в начале «затмения» и о вторичном, почти полном потемнении.

В Ныде же аналогичного повторного потемнения, по-видимому, не наблюдалось и все явление продолжалось около 2 часов (тогда как в Хальмер-Седе 5,5 часа).

Теперь следует рассмотреть вопрос о возможной природе черного облака — причины «сибирской тьмы».

<sup>1</sup> В протоколах метеостанции в Норильске (оз. Долгое) время «сильного потемнения неба» указано с 14 до 16 часов. Однако начало «затмения» и его конец, по-видимому, нельзя отождествлять с этими моментами, так как они относятся только к периоду сильного потемнения неба, а не к общей продолжительности явления. Полное же время «затмения», включая фазы перехода от нормального освещения к «сильному потемнению» и обратно, естественно, должно быть большим.

Судя по описаниям «сибирской тьмы», в различных местах продолжительность фаз перехода от нормального освещения к освещению во время «затмения» и наоборот составляет 30—60 мин. Поэтому началом потемнения в Норильске можно считать 13 час. 30 мин., а окончанием — 16 час. 30 мин.

<sup>2</sup> «Природа», 1940, № 2, стр. 62.

В статье В. Н. Андреева<sup>1</sup> высказывалось мнение, что «затмение» могло быть вызвано атмосферными причинами, хотя источник затмения «...находился на значительной высоте над поверхностью земли и не был связан с помутнением нижних слоев атмосферы, так как в период затмения ни запахов, ни заметных взвешенных частиц не наблюдалось». Впоследствии В. Н. Андреев присоединился к мнению В. И. Вернадского<sup>2</sup> о возможном космическом происхождении этого облака.

П. Л. Драверт в статье «Космическое облако над Ямало-Ненецким национальным округом»<sup>3</sup> отвергает земное происхождение облака, вызвавшего «затмение» и склоняется к точке зрения о его космической природе.

И. С. Астапович также не отрицает возможности связи явления с вторжением в земную атмосферу облака космической пыли<sup>4</sup>. В рассказе «Черное покрывало»<sup>5</sup> В. Н. Болдырев, бывший очевидцем этого события, связывает его с дымом таежных пожаров. По его мнению, «пепел таежного пожара совершил длинное путешествие, перелетев из южной тайги на дальний север... Космическая пыль оказалась здесь ни при чем».

Однако, на наш взгляд, последнее объяснение встречает большие трудности. Об этом свидетельствует, в первую очередь, отсутствие каких бы то ни было сведений о «затмении» из населенных пунктов, расположенных к западу и к югу от полосы «сибирской тьмы». Если бы «затмение» было вызвано облаком дыма от пожара, то это облако не могло совершенно незаметно «перелететь» от места пожара в Ямало-Ненецкий национальный округ и здесь внезапно проявиться в виде непроницаемо-черного облака, на несколько часов затмив-

шего Солнце. Если бы «затмение» было вызвано дымом от пожара или облаком других твердых частиц, поднятых в воздух ветром, то путь этого облака неминуемо был бы прослежен на всем его пути от места возникновения.

Следует иметь в виду, что как к западу, так и к югу от западного конца полосы «затмения» находятся довольно густонаселенные районы. Непременно должны были попасть в полосу «затмения» такие города, как Салехард, Березов и др., если только допустить, что облако было принесено ветром с юга, запада или юго-запада. Однако есть надежные данные, говорящие о том, что в Салехарде никаких, даже самых слабых, признаков «затмения» не наблюдалось.

По мнению П. Л. Драверта, «...пожары в районах, граничащих с Ямало-Ненецким округом, не могли вызвать в последнем явлений, подобных случившемуся 18 сентября. Равным образом катастрофичность наступившего потемнения, его особенности, относительная кратковременность и прочее — все говорит о том, что причина этого феномена лежала не в пожарах... О туманах мы уже не упоминаем, ибо они в условиях сибирского севера никогда не создают вышеописанной картины».

Таким образом, наиболее вероятно, что источником появления «черного» облака следует считать космическое пространство. Можно предполагать, что «черное» облако образовалось из довольно плотного сгустка космической пыли, выпавшего в течение короткого промежутка времени (не более 1,0—1,5 часа) и задержанного в верхних слоях атмосферы.

О кратковременности формирования «черного» облака говорит также тот факт, что после внезапного его появления в западной части полосы «затмения» все дальнейшее развитие явления заключалось, по-видимому, лишь в перемещении этого облака атмосферными течениями в восток-северо-восточном направлении со скоростью около 100 км/час. Никаких сведений о появлении в это время

подобных черных туч где-либо в прилежащих или более удаленных районах земного шара в настоящее время не имеется.

Для выяснения хотя бы порядка величины частиц, составлявших «черное» облако, интересно определить глубину его проникновения в земную атмосферу. Если бы можно было получить материалы о распределении воздушных потоков на разных высотах в сентябре 1938 г., которые дали бы высоту движения «черного» облака, то это могло бы пролить новый свет на природу «сибирской тьмы». Весьма важно было бы проследить дальнейший путь «черного» облака с тем, чтобы определить районы, где облако стало заметно распадаться вследствие опускания наиболее крупных частиц в нижние слои атмосферы. Не исключено, что в этих районах можно было бы предпринять попытку выделить отдельные частицы, образовавшие «черное» облако.

Сейчас особенно важно обратить внимание исследователей на необходимость возможно полного изучения этого явления в связи с повышенным интересом к изучению пыли космического происхождения и необходимости выработать методы ее отличия от земной пыли. Надо собрать все материалы, пока время не стерло последние следы «сибирской тьмы».

УДК 523.78

<sup>1</sup> «Природа», 1940, № 2, стр. 62.

<sup>2</sup> «Проблемы Арктики», 1941, № 5, стр. 55—64.

<sup>3</sup> «Омская область», 1941, № 5, стр. 74—

76.

<sup>4</sup> И. С. Астапович. Метеорные явления в атмосфере Земли, 1958.

<sup>5</sup> В. Н. Болдырев. Полуостров загадок. Географиз, 1959.

# С аквалангом в кратере вулкана

К. К. Зеленов

Кандидат геолого-  
минералогических наук  
Петропавловск-Камчатский

## Экспедиции, путешествия

Несколько лет назад в Индонезии проводила исследования Вулканологическая экспедиция Геологического института АН СССР. Ей было поручено собрать новый материал о влиянии вулканов на осадочное рудообразование. Рука об руку с геологами работал оператор Центральной студии научно-популярных и учебных фильмов А. Н. Попов, который снял во время экспедиции фильм «Дары вулкана», недавно вышедший на экраны нашей страны. Об одном из эпизодов экспедиции — исследовании подводного вулкана — рассказывается в этой статье. Цветные иллюстрации — это кадры из фильма.

### Вулканы под водой

Казалось бы, трудно представить себе огнедышащую гору, извергающую раскаленную лаву под гладью океанских волн. Другое дело на суше — катится по склону лава, клубятся в

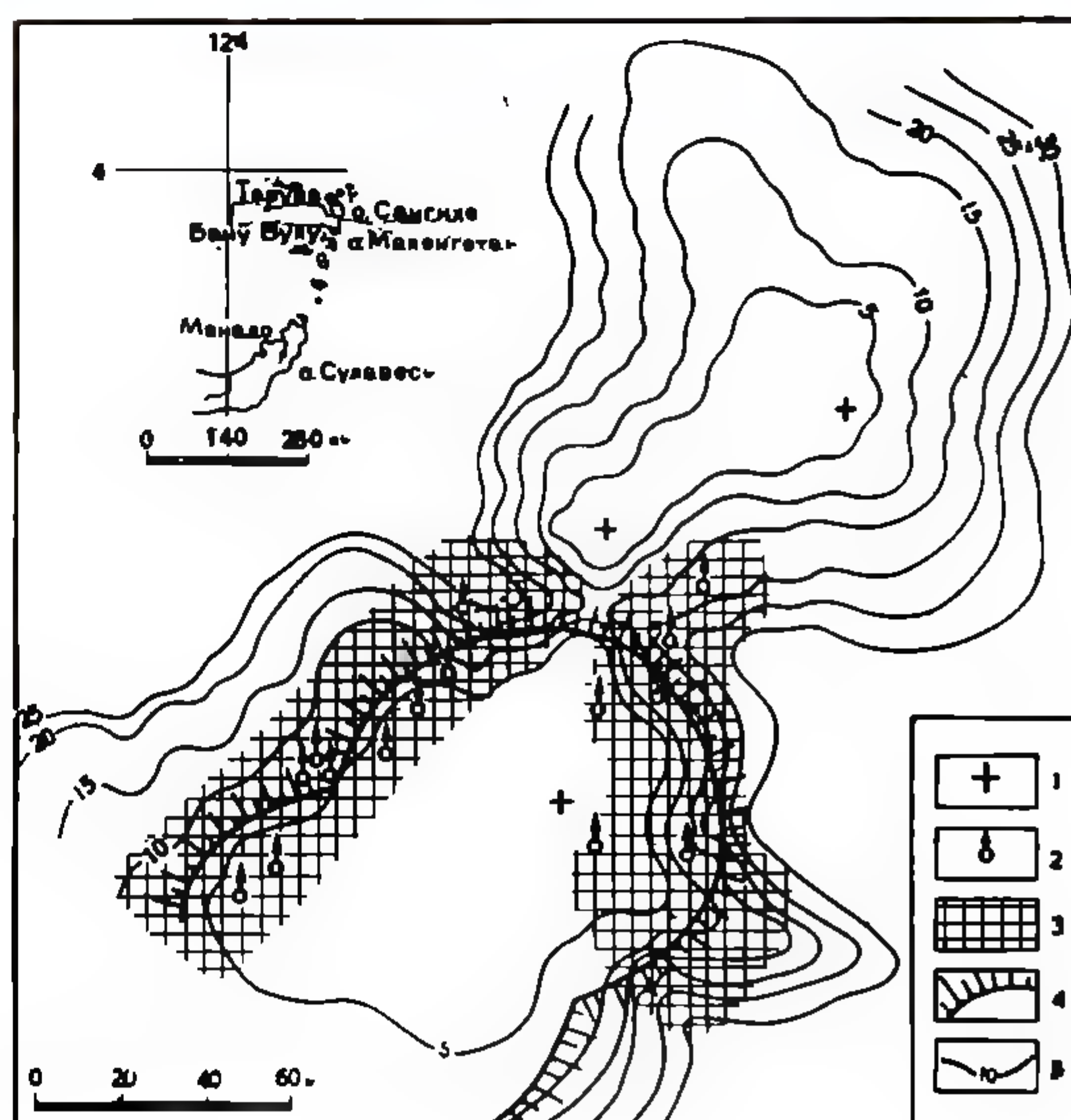
молниях черные тучи пепла, мощные взрывы разносят вулканические постройки в мелкую пыль...

Но бывает и так: вскипает море, расступаются волны, и в клубах пара, в пламени и грохоте взрывов рождается вдруг новый остров-вулкан. Именно так возникли в давние времена многие острова среди океанов, так было на нашей памяти у берегов Японии, к югу от Новой Гвинеи, среди Азорских островов и совсем недавно — близ Исландии<sup>1</sup>. Около 400 островов центральной части Тихого океана — поднявшиеся со дна вулканы.

И все же далеко не все подводные вулканы достигают поверхности океана и становятся островами. За последнее время установлено более 10000 подводных гор вулканического происхождения, скрытых в океанских глубинах. Вулканические сооружения разбросаны на дне глубоких впадин, цепочками располагаются на поверхности подводных валов. Оказалось, что Срединно-Атлантический хребет, южная часть Индийского океана, как и обширные пространства дна Тихого океана, представляют собой давно возникшие вулканические области, до сего времени сохранившие свою активность.

<sup>1</sup> «Природа», 1965, № 3, стр. 107; № 10, стр. 108.

На вклейке. Вверху: на переднем плане — камень — вершина подводного вулкана, не менее грозного, чем вулкан-остров на горизонте. Подводный вулкан стоит на пути мощного отливного течения. Поэтому вокруг вершины — водоворот мчащейся воды. Внизу: схема подводного вулкана Бану Вуху. 1 — вершины, обнажающиеся во время отлива; 2 — выходы газов и горячих струй; 3 — подводные фумарольные поля с Fe—Mn осадками у выходов горячих струй; 4 — граница молодого купола с подвижной крупноглыбовой осыпью; 5 — горизонтальные глубины в метрах от уровня океана





Значит, на дне океанов, так же как и на суше, широко развит вулканизм — совокупность явлений, сопровождающих перемещение расплавленных магматических масс из глубин Земли на ее поверхность.

Поднимающаяся из недр Земли магма делится на силикатную часть — лаву и летучие компоненты — газы. В условиях поверхности суши это разделение происходит в жерле вулкана весьма бурно — катастрофическими извержениями. Вскипающие в лаве газы разрывают ее на мелкие частички, клубами пепла поднимают высоко в атмосферу. Даже когда извержение утихнет, еще длительное время вырываются из кратера газы остывающего на глубине магматического очага.

На дне океана этот процесс протекает принципиально иначе. Высокое гидростатическое давление воды, а главное — ее высокая плотность (в 1000 раз больше плотности атмосферы) резко ограничивают возможность возникновения взрывов. Лава медленно растекается по океаническому дну, постепенно отдавая воде свою летучую часть. Веками нагромождающаяся лава образует многокилометровые конуса — щитовые вулканы. И только близ самой поверхности — на глубине примерно 100—150 м, «запрет» на взрывы снимается и вулкан шумно заявляет о своем существовании. Именно тогда и рождается вулканический остров:

подводный вулкан превращается в наземный.

Есть у подводных вулканов и еще одна важная особенность.

Продукты их деятельности не рассеиваются в атмосфере, как у наземных вулканов. Выделяющиеся летучие компоненты усваиваются океанской водой, перерабатываются ею и далее перераспределяются в соответствии с законами гидродинамики. А летучие компоненты очень разнообразны. Высокая температура остывающей магмы позволяет «лететь» вместе с обычными вулканическими газами различным соединениям металлов, и в том числе галоидам железа, марганца, титана...

Именно подводные вулканы могут быть источниками вещества многих морских осадочных рудных месторождений. Познать их — значит найти новое звено в цепи фактов большой и нужной науки о формировании полезных ископаемых.

Поэтому, когда нам предоставилась возможность работать в Индонезии, мы решили во что бы то ни стало осмотреть действующий подводный вулкан.

### Бану Вуху — «Новая Земля»

Такой вулкан оказался в гряде островов Сангihe, редкой цепочкой протянувшейся с севера на юг между Филиппинами и полуостровом Минахаса на севере Сулавеси. Маленький торчащий из воды камень, на котором едва-едва мог уместиться один человек, торжественно назывался Бану Вуху — «Новая Земля».

История этого камня весьма примечательна.

Первое извержение, о котором сохранились сведения, произошло в этом месте 23 апреля 1835 г. и завершилось образованием лавового острова-купола высотой 30 м. К 1848 г. остров разрушился, и в море осталось лишь несколько утесов. 6 сентября 1889 г. вулкан снова начал действовать, причем извержение в течение двух месяцев сопровождалось цунами и частыми разрушительными землетрясениями на многих

островах гряды Сангihe. В конце 1895 г. жители ближайшего к Бану Вуху островка Махенгетан наблюдали диковинные гейзерообразные струи, бьющие вертикально вверх из «кипящего» моря. «Гейзеры» сопровождались выделением сернистых газов и массовой гибелью рыбы. Новый сильный выход сернистых газов отмечен 17 апреля 1904 г., после чего из моря поднялся остров. Морская вода вокруг острова имела ржаво-красную окраску и неистово бурлила, однако оставалась холодной, имела горько-соленый вкус обычной морской воды и неприятный запах серы.

Самым катастрофическим было извержение, которое началось в 1918 г. и продолжалось с перерывами до конца 1919 г. Утром 18 июля 1918 г. из моря поднялся высокий столб воды, вызвавший разрушительное цунами. Все водное пространство, насколько хватало глаз, покрылось пемзой; в течение 4 часов подряд со стороны моря доносился сильный гул. 2 февраля 1919 г. над морем поднялись две скалы, которые к вечеру снова погрузились в «кипящее» море. В апреле деятельность вулкана достигла максимальной силы. Соседний остров Махенгетан был засыпан пеплом и градом вулканических бомб размером более человеческой головы. По наблюдениям с других островов, столб «дыма» над Бану Вуху поднимался в это время до высоты 4—5 тыс. м, были слышны сильные взрывы и видно огненное свечение. В результате образовалась обширная банка, из которой в конце 1919 г. выдвинулась лавовая игла высотой 20—30 м. К 1935 г. эта игла опустилась в море, и от острова осталась лишь каменистая отмель да несколько обнажающихся в отлив невысоких обломков скал.

К одному из этих «обломков», отмеченных на всех навигационных картах знаком «большой опасности», подошло наше маленькое экспедиционное судно.

Первое, что мы заметили, — это непривычный для океана стремительный поток, бешеным водоворотом крутящийся вокруг скалы. Стометро-

На вклейке.

Вверху: скрытый глубоко под водой свежий развал лавы извержения 1919 года. Когда проплываешь мимо, остроугольные обломки, кажется, еще шевелятся... Внизу: «Поле Серебряных Струй». Вместе с газами из недр земли в океан поступает железо и марганец. Красный осадок на камнях — гидроокислы этих металлов

вый великан, поднявшийся со дна на пути мощного приливно-отливного течения, заставил бежать его со скоростью курьерского поезда. Судно неторопливо раз за разом обходило вокруг скалы: бросать якорь в таком потоке было бессмысленно. Ждали смены направления течения, с которой должно было наступить двухчасовое затишье, удобное для работы.

Странное чувство владело нами. Ведь только еще вчера мы стояли на краю кратера извергающегося вулкана Сиау на о-ве Сангхе. Великолепный дымящийся конус этого вулкана виден и сейчас далеко на горизонте. Все было просто: дно кратера шевелилось поднимающимся пеплом, густые заряды его с шумом выстреливали вверх, клубились над головой и рассыпались мелкой пылью; из раскаленных трещин кратера вырывались разноцветные струи газов. Все было видно и все было понятно. А здесь — обширная гладь океана, и трудно представить себе, что мы находимся прямо над кратером: перед глазами только маленький, упирающийся волнам камень, да белая опалесцирующая взвесь коллоидов серы в бегущей воде...

И не сразу услышали мы, как в ровный шум судового двигателя вплелся тонкий стрекот компрессора: душистый тропический воздух уплотнялся в баллонах аквалангов.

## Поле Серебряных Струй

Потихоньку улегся бурун за одиноким камнем, утих поток. Отлив сменялся приливом. Загремела якорная цепь, начались будни.

Осторожно спустились по трапу к самой воде: сначала только с масками — на рекогносцировку. Прыжок в воду — и глазам открылась фантастическая картина бездонного обрыва края кратера, хаотическое нагромождение обломков изверженных пород растущего под водой купола, серебро пузырей поднимающихся газов. И во всем этом — отчетливо слышимое под водой низкое, меняющееся по тембру, но устойчиво-постоянное уверенное гудение дей-

ствующего вулкана. Первое время это гудение сковывало, мешало плавать...

Короткое время якорной стоянки уплотнено до предела. На вершину вулкана уже взобрался индонезийский топограф. Его задача — составить подробную карту шумной подводной горы. Это выглядит несколько необычно — топограф, сидящий верхом на крохотном утесе среди океана. Но вокруг него шлюпки с гребцами, измеряющими глубины, и пловцы, которые высматривают изгибающиеся очертания склонов и выходы газов. Поднятая рука пловца, призывный крик — и на карту нанесена новая интересная точка. Постепенно, горизонталь за горизонталью, вырисовывается на схеме контур вершины подводного исполина.

Куполов, оказывается, два. Один — старый, мертвый, обросший водорослями, прикрепленными животными и даже кораллами. Странно видеть стайки ярко-пестрых коралловых рыбок среди черных лав. Второй — черный развал глыб лавы андезито-дацитов, почти без прикрепленной фауны. Видны массивные скальные глыбы, остроугольные обломки их осыпи; иногда в скалах видна отдельность типа «поленниц». Вот она, экстрюзия 1919 года! Еще живет, движется...

С аквалангами и кинокамерой оплываем «живой» купол. Слева — острые, еще не успевшие обрасти кораллами и водорослями черные глыбы, справа — кажущаяся бездонной синь глубины океана. И вдруг аквалангист скрывается в облаке серебряной пыли. Осматриваемся — это мелкие и крупные струи пузырьков вулканического газа выбиваются из трещин в камнях. Когда смотришь против солнечного света, кажется, будто сотни тысяч разнообразных блестящих монет стремительно поднимаются в голубую высь и исчезают в белой пене над вулканом. Подводное фумарольное поле! Скрытые трещины окаймляют «молодой» купол. Блестящие пузырьки то вырываются по его склонам, то пробиваются в осыпи подножия. На суше это было бы злое шипение ядовитых газов, вырывающихся из раскаленных расщелин... «Поле Серебряных Струй» —

так мы решили назвать этот, доселе еще никем не виданный, уголок подводного царства.

А вот еще — серой колышущейся лентой поднимается из ямки среди камней поток горячей воды. Догадываемся — это конденсируется вулканический пар, мощное горячее дыхание вулкана. Серебряных пузырей здесь меньше, зато отчетливо видно, как серая муаровая полоса постепенно рыжеет и тонкий красный порошок сыплется вниз, на камни. Гидроокислы железа и марганца, посланцы глубин Земли! Не эти ли муаровые струи помогут нам разгадать, как образовались месторождения металлов в телах давно угасших древних вулканов?

Рабочее время коротко, но торопиться нельзя. Мы поднимаемся на борт, обдумываем и обсуждаем виденное, чтобы затем — в который уж раз! — снова нырнуть под воду. И так день за днем.

К россыпи красных камней с борта шлюпки медленно опускается объемистая фляга — вместе с камнями мы поднимем осезшую на них взвесь из подводных фумарол. У основания муаровых струй температура воды около 50°. Струю можно «ощупать» руками — она как горячий столб диаметром около 20 см, быстро расширяющийся, остывающий, и как бы «растворяющийся» над дном. Начинаем переворачивать камни под столбом и обжигаемся: 90°! Брезентовыми рукавицами осторожно растаскиваем покрытые красной взвесью обломки, складываем во флягу. С наполненной бутылками капроновой сеткой, будто с «авоськой», спускаемся прямо к устью муаровых струй. Неосторожное движение — и пустая заткнутая пробкой бутылка светлой рыбкой выскальзывает из сетки и словно детский воздушный шарик летит ввысь. Прощай, голубушка! Зато остальные наполняются неизведанной влагой в самом центре горячей струи. Широкой воронкой накрываем юркие пузырьки — и новые бутылки наполняются уже не водой, а газом.

Итак, карта составлена, пробы отобраны, пленка отснята. Обнажающийся в отлив камень уже не ка-

жется чужим и одиноким. Мы теперь ясно представляем себе, что здесь, под нами, открыта еще одна новая дверь в грандиозную лабораторию природы...

### Тайна красной взвеси

Драгоценная взвесь была счищена с камней капроновой щеточкой, собрана в банки. Так ее и доставили в Москву. Привезли и воду подводных струй, и газ. Начались привычные исследования.

И первая весть из лаборатории: вода горячих струй почти такая же, как и морская. Те же соотношения основных солей, та же концентрация водородных ионов. Теперь понятно, почему мы так и не смогли обнаружить никаких изменений в обломках лав, промываемых на дне горячими муаровыми струями. Нет под водой кислых растворов, разлагающих лавы! Вот и еще одно отличие подводного вулкана от наземного...

Но вода все-таки не совсем «морская».

Содержание углекислоты в ней заметно повышено. И карбонатов нет — только бикарбонаты. Это связано с тем, что выделяющийся вместе с горячей струей газ содержит 97% углекислоты и почти 3% азота. Часть углекислоты растворилась в воде, прореагировала с карбонатами.

Много оказалось растворенного кремнезема — до 45 мг/л. Ясно, что пришел этот кремнезем из глубин Земли вместе с газами. И самое интересное — из этой воды, предельно прозрачной в момент отбора пробы, за время ее транспортировки от Бану Вуху до лаборатории в Москве выделилось из каждого литра до 140 мг красных гидроокислов. Железа в этой взвеси оказалось более 60%, марганца — около 6%. И целая серия других элементов — молибден, свинец, олово, германий.. И еще — титан, ванадий, кобальт, хром, цинк, никель, медь...

В лаве Бану Вуху эти элементы содержатся в гораздо меньшем количестве, а некоторых из них нет совсем.

Так, например, ванадия и меди во

взвеси оказалось в два раза больше, чем в лаве, никеля — в 7 раз, а кобальт, хром, цинк, молибден, олово и германий — вообще установлены только во взвеси. В породах вулкана их не удалось обнаружить, даже спектральным анализом.

Значит, не из лавы эти элементы, а гораздо глубже — из недр Земли. И пришли они в океан, как и железо, и марганец, вместе с вулканическими газами.

Все это, стало быть, бывшие летучие компоненты магмы.

Теперь можно представить себе механизм поступления этих металлов в морскую воду и накопления их на дне океана.

Вулканические газы поступают из магматического очага в воду. Вместе с ними — металлы, вероятнее всего в виде летучих галогенных или сернистых соединений. В воде эти соединения гидролизуются, и железо и марганец выделяются из раствора в виде коллоидов своих гидроокисей. Именно в этот момент, как мы видели, и начинает «рыжить» верхушка теплой колонны муаровой струи. Формирующиеся коллоиды обладают большой адсорбционной способностью, что и приводит к совместному соосаждению находящихся в растворе редких и рассеянных элементов.

Наблюдения за количеством и диаметром подводных струй, скоростью их подъема и количеством коагулировавшей взвеси дали возможность приближенно оценить продуктивность Поля Серебряных Струй. Оказалось, что ориентировочное количество железо-марганцевой взвеси, вносимое в океан в результате деятельности подводных фумарольных полей вулкана Бану Вуху (учитывая возможные неточности измерения), колеблется в пределах  $9 \cdot 10^2$  —  $9 \cdot 10^3$  т в год.

Что это — много или мало? И куда деваются поступающие в океан железо и марганец?

Существование вулканов, подобных Бану Вуху, и есть, вероятно, ключ к разгадке происхождения железо-марганцевых конкреций и корок, устилающих дно абиссальных глубин

океанов. Американский исследователь Менард утверждает, что на дне Тихого океана постоянно и одновременно действовали в прошлом и действуют сейчас не менее 100 подводных вулканов. Если предположить, что Бану Вуху наиболее активно выделяет железо-марганцевую взвесь, так что аналогичным ему мог бы быть лишь каждый десятый вулкан океана, то и тогда вероятное количество железо-марганцевой взвеси, поступившей в океан, скажем, за последний миллион лет (четвертичный период), будет вполне соизмеримо с запасами железо-марганцевых конкреций в поверхностном слое осадков, установленными советскими океанологами Н. Л. Зенкевичем и Н. С. Скорняковой («Природа», № 2 за 1961 г.)

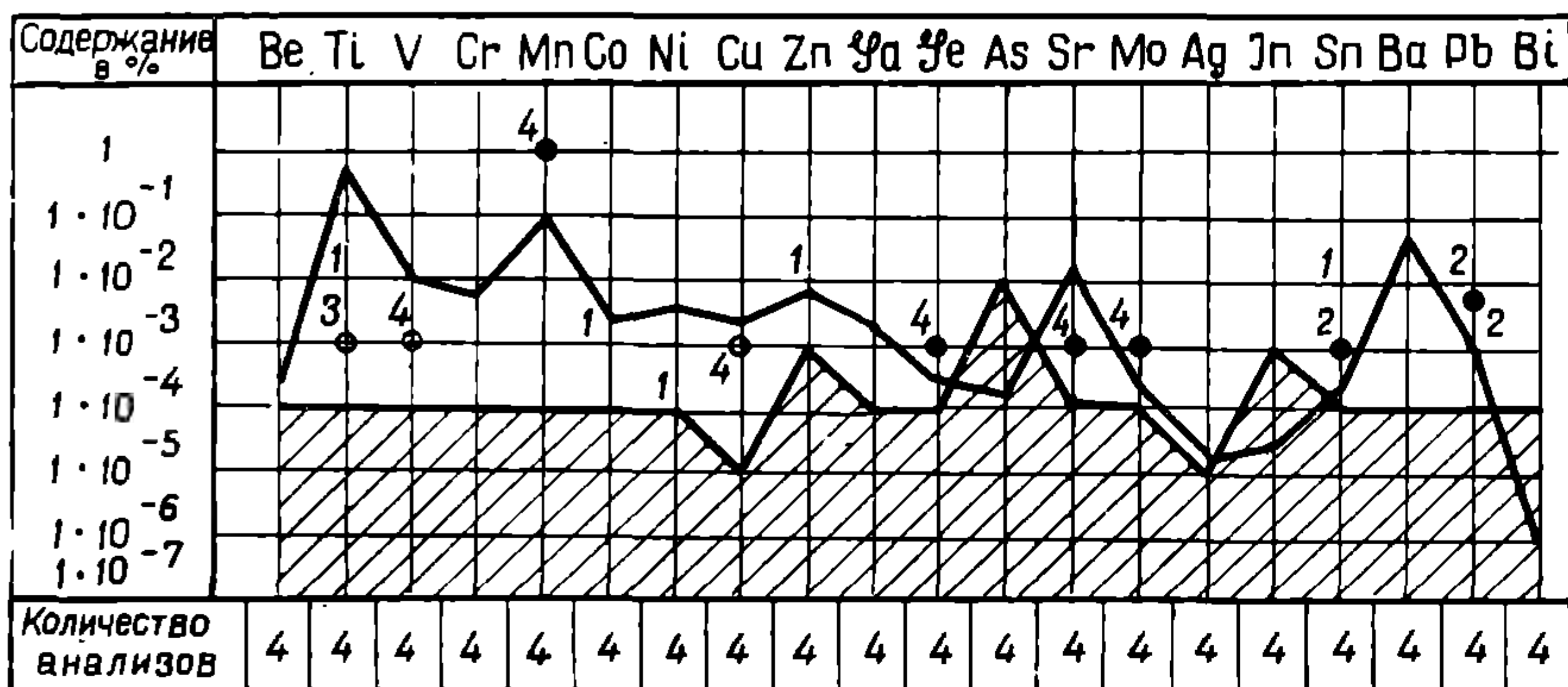
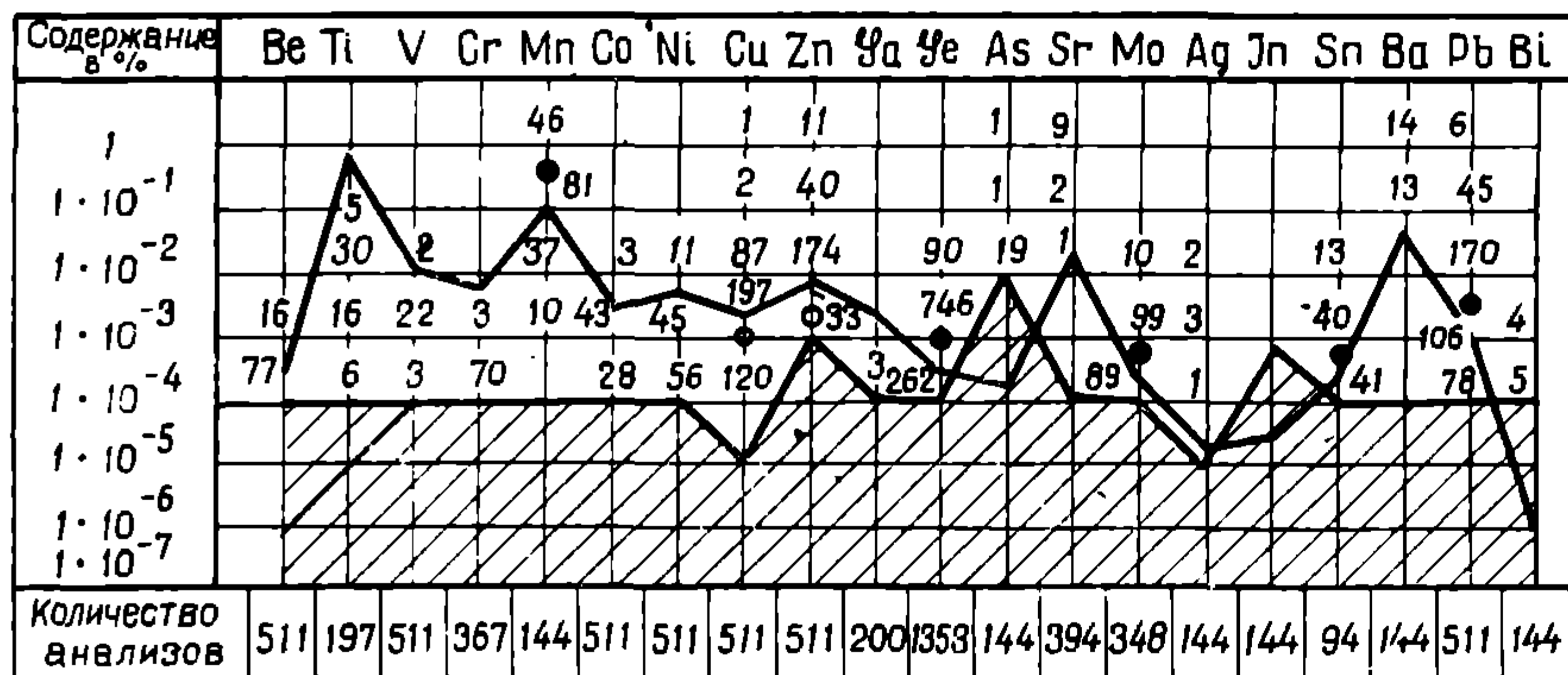
И еще одна ниточка протянулась от Бану Вуху — к древним вулканогенно-осадочным железо-марганцевым месторождениям.

Ряд элементов — молибден, свинец, олово, германий — оказались в железо-марганцевой взвеси Бану Вуху в количествах, значительно превышающих их среднее содержание в земной коре.

Среди этих элементов очень интересен и важен германий — элемент, без которого нельзя сделать полупроводниковых диодов и триодов, фотоэлементов, термисторов. Было известно, что германий часто встречается в древних морских железо-марганцевых осадках. Как он туда попадает? Узнать это — значит понять, где и как искать промышленные скопления германия.

Советский геолог В. М. Григорьев проанализировал на германий несколько тысяч образцов самых разнообразных осадочных железных и железо-марганцевых руд. Оказалось, что германий связан только с одним генетическим типом руд — с морскими вулканогенно-осадочными рудами. И вместе с германием в этих рудах выявлено также повышенное содержание молибдена, свинца и олова.

Ясно теперь, откуда попал германий в железные и железо-марганцевые руды — с газами подводных



Спектрограммы содержаний элементов-примесей в железных рудах древних месторождений, образованных в процессе подводного вулканизма (вверху) и в железо-марганцевой взвеси вулкана Бану Вуху (внизу). Заштрихованная часть спектрограмм — область нечувствительности спектрального анализа; ломаная линия — средние содержания (кларки) элементов в земной коре;

цифры на спектрограммах — количество анализов по интервалам содержаний: черные кружки — выше среднего содержания в литосфере (более 50% анализов), белые — ниже среднего содержания в литосфере (более 50% анализов). Отчетливо видно полное тождество этих спектрограмм. Значит, происхождение древних руд и железо-марганцевой взвеси Бану Вуху — одно и то же

вулканов, а затем «на плечах» железо-марганцевой взвеси.

### Рудники будущего

Океан переживает сейчас молодость новых открытий.

Прежде это была большая неизведанная дорога, соединяющая далекие земли. Открывались новые заливы и бухты, проливы и острова.

Сегодня — это житница многих народов, поставляющая продукты питания.

Завтра — это рудник, минеральные ресурсы которого разнообразны и неисчерпаемы.

Уже добывают из океана магний и бром, серу и фосфориты, нефть и алмазы.

Уже добывают в океане железо-марганцевые конкреции. Попутно извлекаются никель, кобальт, медь. При этом подсчитано, что годовая скорость накопления марганца, никеля и кобальта в конкрециях во много раз превышает потребление этих металлов.

Поэтому все важнее и важнее представляется дальнейшее изучение подводных вулканов — аппаратов, посредством которых океан снабжается все новыми и новыми ценными компонентами.

Бану Вуху — это песчинка.

Но ведь так и складывается океан наших знаний — капля к капле...

УДК 551.214

Из истории  
науки

# Академическим экспедициям — 200 лет

Е. В. Ястребов  
Кандидат географических наук  
Москва

Перед нами безграничные просторы СССР, подлежащие полному их освоению в ближайшем будущем. Мы хотим знать, что делалось для этого в прошлом, как постепенно из ничего нарастала сумма знаний о нашей Великой Родине.

Академик  
В. Л. Комаров. 1938 г.

В июне текущего года исполняется 200 лет со времени организации Академических экспедиций, которые были направлены в разные уголки России для изучения ее природы. Это была эпоха довольно быстрого развития русской науки и культуры, эпоха приобщения России к передовой цивилизации. Созданная в 1725 г. по инициативе Петра I Петербургская Академия наук стала главным центром научных исследований в стране. В это время выдающиеся русские ученые работали совместно с наиболее передовыми иностранцами, специально приглашенными из-за границы. Все вместе они и заложили фундамент подлинно научного изучения нашей Родины. Бескрайние леса и степи, пустыни и субтропики, высочайшие горы и полноводные реки нашей страны тают богатейшие природные ресурсы,

которые теперь довольно хорошо изучены и все больше вовлекаются в хозяйственный оборот. Но было время, когда люди только приступали к их изучению и составляли первые научные описания как России в целом, так и ее отдельных районов.

Планомерное научное изучение природы нашей страны началось в XVIII в. и было связано с социально-экономическим развитием русского общества. Среди первых русских экспедиций особое место занимают экспедиции, известные сейчас под названием Академических. Такое название утвердилось за ними потому, что их организовала Петербургская Академия наук (прежде они именовались физическими экспедициями). Они проводили работу с 1768 по 1774 г. и оставили настолько значительный след в развитии русской науки, что некоторые результаты их не утратили своего значения и поныне.

Одним из инициаторов детального изучения России был М. В. Ломоносов. Он стоял во главе самого крупного географического учреждения тогдашней России — Географического департамента Академии наук и неоднократно добивался организации экспедиций для всестороннего изучения государства. В одном из писем президенту Академии наук К. Г. Разумовскому от 10 сентября 1764 г. Ломоносов писал: «...прошу Ваше сиятельство приказать рассмотреть и экспедиции расположить в профессорском собрании купно с Географическим департаментом и произвести в действие неукоснительно». При жизни великого ученого работало несколько экспедиций в разных районах России, но самые крупные, о которых мечтал Ломоносов, начали работу через три года после его кончины.

Академические экспедиции состояли из пяти отрядов: трех оренбургских и двух астраханских, однако такие названия были для них весьма условными. Участники оренбургских отрядов охватили своими исследованиями территорию вплоть до Забайкалья и северной части Уральского хребта, а участники астраханских отрядов изучали многие районы Юга Европейской России и частично зарубеж-

ные страны. Руководителями отрядов были назначены: П. С. Паллас, И. И. Лепёхин, И. П. Фальк, И. А. Гюльденштедт и С. Г. Гмелин. В распоряжении каждого из них были: рисовальщик (художник), чучельник и несколько гимназистов. Несмотря на то что почти все участники экспедиций, в том числе и руководители отрядов, были очень молоды (большинству не исполнилось и 28—30 лет) и некоторые из них перед выездом в поле не имели еще достаточного опыта полевых исследований, они с исключительным упорством и настойчивостью проводили намеченную работу, результатом которой явились многотомные труды, ставшие гордостью русской науки. Для проведения полевых исследований была составлена единая инструкция.

Отряд Петра Симона Палласа выехал из Петербурга в июне 1768 г. Сначала путешественники направились на Волгу и в Прикаспийскую низменность, затем на Южный и Средний Урал и в Западную Сибирь. Выполнив намеченную программу, Паллас обратился в Академию с просьбой продолжить исследования восточных районов страны и, получив разрешение, отправился на Алтай, в Саяны и в Забайкалье. В Петербург путешественники возвратились через шесть лет, в декабре 1774 г.

Будучи зоологом, Паллас детально изучал животный мир России, а также окаменелости, по которым можно было получить представление о давно вымерших животных. Многолетние тщательные наблюдения привели его к чрезвычайно важному выводу об изменчивости видов животных. В этом вопросе Паллас был одним из предшественников Ч. Дарвина. Не менее важные наблюдения были сделаны им и над растительным покровом, среди которого он обнаружил и описал много не известных ранее науке растений. Детальные наблюдения Паллас провел в Прикаспийской низменности, изучив ее рельеф, почвы, растительность, ископаемые организмы. Он правильно определил, что уровень Каспийского моря лежит ниже уровня Черного моря на 10 саженей (более 20 м) и что прежде Каспий распро-



Мытник желтый. (Из книги Палласа, 1788 г.)



Рододендрон. (Из книги Палласа, 1788 г.)

странялся на севере до Ергеней и Общего Сырта.

Иван Иванович Лепёхин также начал свои исследования в Поволжье. Затем он посетил Прикаспийскую низменность, в частности оз. Эльтон, и далее отправился в Башкирию. Много внимания Лепёхин уделил исследованию Южного, Среднего и частично Северного Урала. Отсюда он через верховья Камы и Вятки добрался до Северной Двины и спустился по ней до Архангельска. Объехав Белое море и собрав о нем необходимые сведения, путешественник в декабре 1772 г. возвратился в Петербург. В следующем году он совершил поездку по Прибалтике и Белоруссии.

Наиболее ценные наблюдения были сделаны Лепёхиным на Урале и Севере Европейской России. На Урале его поразило разнообразие и богатство земных недр. Уже в то время ученый ставил вопрос о необходимости более тщательных поисков полезных ископаемых и о разумном их использовании. Довольно подробно Лепёхин описал некоторые уральские пещеры, в частности знаменитую Кунгурскую. Путешествуя по Северу, Лепёхин хотел исследовать и Новую

Землю, но ему не удалось совершить эту поездку. Тем не менее у поморов он собрал об этих островах подробные сведения. Лепёхин был одним из первых ученых, считавших Новую Землю северным продолжением Уральского хребта. Он правильно описал рельеф, климат, растительный и животный мир этих островов и дал оценку природным условиям и ресурсам северной окраины Европейской России. Его постоянным спутником в экспедиции и помощником в обработке собранного материала был гимназист, а впоследствии замечательный русский ученый академик Н. Я. Озерецковский. Отряд, работавший под руководством Иоганна Петера Фалька, проводил географические и этнографические исследования от Петербурга до Алтая и Северного Кавказа и тоже собрал разнообразные сведения о природе посещенных районов и о быте местного населения, особенно татар и калмыков. Перед завершением экспедиционных работ Фальк, будучи тяжело больным, покончил с собой. Собранные им научные материалы впоследствии были обработаны и изданы его коллегами.

Большие и важные самостоятельные

научные исследования выполнили участники оренбургских отрядов Иоганн Готлиб Георги и Василий Федорович Зуев. Первый из них сначала работал в отряде Фалька, затем — Палласа. Наиболее детальные исследования Георги провел на оз. Байкал. Он дал комплексную характеристику озера и составил его карту. Описание этого уникального водоема долго оставалось лучшим источником для последующих исследований Сибири. Кроме того, путешественник собрал ценные сведения о природе Алтая, Урала и Поволжья. Много внимания ученый уделил изучению народов России. Но, пожалуй, еще большей заслугой Георги следует считать то, что по возвращении из экспедиции он в течение многих лет работал над составлением капитальной сводки по географии России. Этот многотомный труд содержал наиболее полные сведения о природе, хозяйстве и быте народов нашего государства. Он не утратил своего значения до настоящего времени.

Самым молодым участником экспедиции был Зуев (в 1768 г. ему исполнилось только 14 лет), который после 2—3 лет работы по заданию Палласа проводил самостоятельные ис-

следования в наиболее отдаленных северных районах Сибири — в низовьях рек Оби и Енисея. Зуев составил описание народов, населявших эти северные земли. Путешествуя по горам Южной Сибири, он обнаружил большой метеорит, хранящийся сейчас в коллекции Академии наук и известный под названием «Палласово железо». Зуевым был также осуществлен перевод трудов Палласа с немецкого языка на русский.

Ценные сведения о природе Европейской России были собраны участниками астраханских отрядов Иоганном Антоном Гюльденштедтом и Самуилом Готлибом Гмелиным. Они проводили исследования в бассейнах Днепра, Дона, Волги, а также на Кавказе и Каспийском море. Наиболее важные в научном отношении наблюдения Гюльденштедт провел в южнорусских степях. Он подробно изучил почвенный и растительный покров и животный мир этой природной зоны, а также смену ее ландшафтов с севера на юг, разделив степи на черноземные и нечерноземные (более засушливые). Путешественник правильно отметил, что важной особенностью степей является обилие роющих животных, способствующих разрыхлению почвы. Он впервые описал неизвестный ранее вид суслика, а также слепыша и некоторых других животных. Гюльденштедт первым верно объяснил происхождение черноземных почв. Только через сто лет после него замечательный русский ученый В. В. Докучаев более глубоко изучил эти важнейшие почвы России.

Другой астраханский отряд исследовал многие районы бассейна Дона, а также прибрежные районы Каспийского моря не только на северном участке, принадлежавшем России, но и за границей. Там Гмелин был взят в плен (его приняли за шпиона) и умер, не успев завершить работу. Собранные им материалы были впоследствии обработаны и изданы в Петербурге. Следует отметить наблюдения Гмелина над нефтяными источниками в районе Баку, описания климатических особенностей посещенных районов, изучение растительности степей, и особенно полупустынь, а также животного мира



Филин. (Из книги Лепёхина, «Дневные записки», ч. II, СПб, 1802 г.)

этих природных зон. Им была описана дикая лошадь, обитавшая прежде в южнорусских степях, но полностью истребленная около ста лет тому назад.

Собранные путешественниками материалы о природе, хозяйстве и быте народов России были тщательно обработаны и изданы более чем в двадцати томах. Они по праву занимают почетное место среди наиболее выдающихся русских научных достижений XVIII в. Большинство работ написаны на немецком языке и, к сожалению, не все переведены на русский. Книги Палласа, Лепёхина, Георги и других участников Академических экспедиций давно стали библиографической редкостью. Они мало известны широкому кругу читателей, а между тем эти книги содержат много любопытных и ценных сведений о нашей стране. В них авторы поднимали вопросы, актуальные и сегодня. Конечно, некоторые из описаний выглядят иногда забавно и даже наивно, в них не всегда правильно объяснены те или иные явления, а порою они содержат и неверные трактовки. Однако сейчас, спустя двести лет, нельзя быть придирчивыми к таким описаниям — ведь они сделаны авторами, когда многие вопросы

естествознания были еще совершенно не изучены.

Отдавая должное ученым, нельзя забывать и об их постоянных помощниках, странствовавших с ними многие годы. Большую творческую работу проделали рисовальщики Н. Дмитриев, М. Шалауров, И. Борисов, Г. Белов, П. Григорьев. Они привезли в Петербург огромное количество зарисовок, набросков и художественных произведений, многие из которых были использованы для иллюстрирования многотомных трудов руководителей экспедиций. Рисунки характеризуют быт различных народов, предметы домашнего обихода, изображают млекопитающих, птиц, рыб, растения; имеются и географические карты.

Неменьшая работа была проделана чучельниками П. Шумским, Ф. Федотьевым, М. Котовым, С. Тарбеевым, К. Зряковским. Эти специалисты изготовили в пути множество чучел различных животных и птиц, обогатив ими коллекции Академии наук. Среди чучел были и неизвестные прежде науке животные, например некоторые грызуны степной зоны.

Обработку полевого материала ученые проводили по возможности в экспедиции, особенно в зимние периоды. Составленные ими описания и собранные коллекции отправляли в Петербург, где труды публиковались. Окончательная же обработка материалов была проведена по завершении всей работы. Стоит привести некоторые выдержки из работ этих замечательных ученых, так как их собственные описания лучше всего могут свидетельствовать об уровне русской научной мысли второй половины XVIII столетия.

В октябре 1768 г. Паллас вел полевые исследования к северо-востоку от Самары, в бассейне р. Сок. Среди составленных им описаний большой интерес представляют сведения о нефтеносности этого района. Вот одно из таких описаний: «Нефтяной ключ находится за несколько верст от Семенова в южно-восточной стороне при западном крутом скате вышеупомянутой горы, на оброслом березником, и так как вся около лежащая страна, покрытом тучным



Калмыцкая юрта. (Из книги Палласа, ч. I, 1773 г.)

черноземом месте, по которому течет западный главный источник речки Байтугана. Ключ несколько распространили и при горе выкопали небольшую наподобие котла яму шириною и глубиною до трех футов, в которую вода прибывает без приметного движения и также не приметно уходит в мимо текущую малую речку. И так хотя ключ не имеет быстрого течения, однако никогда

не замерзает и в жестокие морозы, и если занесет его снегом, то восходящие из него смолистые пары, коих запах нарочито далеко чувствовать можно, очень скоро делают сквозь снег отверстие... В малой яме ключа покрывается поверхность воды черною весьма липкою нефтью, которая имеет цвет и существо густой смолы, и хотя часто оную черпывают, однако она опять собирает-

ся в несколько дней. Около двух недель тому, как вычерпана была собравшаяся на поверхности воды нефть; но несмотря на студеную погоду, опять собралось оной столько, что я мог снять до шести фунтов, не считая того, что сколько по липкости ее прильнуло к другим вещам. У самой горы вода была оною покрыта на большой палец толщиной, а в стоке сего ключа толщина ее стано-

вится отчасу тонее, потому что вода беспрестанно несколько с собою уносит. Вся яма ключа покрыта нефтью, да и земляной слой, в котором она находится, и который чайтельно далеко простирается в гору, весь оною наполнен»<sup>1</sup>.

Далее автор пишет, что нефть уже тогда довольно широко употреблялась местным населением в домашнем хозяйстве и как лекарственное средство. В годы Советской власти в обширной Волго-Уральской области, в частности в бассейне р. Сок, были открыты крупные месторождения нефти, но, как видно из описания Палласа, местные жители «добывали» ее еще двести лет тому назад. Большое впечатление на Палласа произвело посещение им оз. Байкал. «Чем ближе к Байкалу подъезжаешь,— пишет он,— тем горы становятся выше и вид дичее... Жерло реки Ангары с обеих сторон стеснено каменными горами, промеж которых как будто сквозь ворота великое моря пространство и стоящие по берегу каменные хребты видны»<sup>2</sup>. И далее: «Посередь Байкала и к северному берегу такая глубина, что часто со многими лотами дна не доставали. Самое море подобно ужасной пропасти, которая разбитые хребты берегами себе имеет и в которую б взявшиеся оттоль реки стекались. Самой набережной гребень везде по себе следы имеет тяжких и усильственных прошедших приключений, также и знаки отдаленнейшей древности... Как я в Посольский монастырь приехал<sup>3</sup>, то по всему Байкалу такой великой туман распростирался, какой обыкновенно только или на высоких горах, облака к себе притягивающих, или в землях при море лежащих осенью и зимою бывает... Западные ветры, кои обыкновенно на Байкале продолжительны, обезнадеживали меня в перевозке на ангар-

ское устье и... о скорейшем отъезде нельзя было и подумать... В оное время упражнялся я то в собирании трав около Посольского монастыря, то в описании обыкновенного тутошнего рыболовства... Ловля производится все лето насквозь неводами длиною сажень на двести, и как море по сю сторону отмело, то и пускают его с лодки в море на твердом псковном канате длиною сажень в триста и вытягивают оттоль поставленным на берегу воротом. Весною, как скоро лед ломает, самый лучший промысел бывает так называемых морских сигов и линков, кои в это время великим множеством к отмелям икру бросать приваливают. А летом, как и рыбаки ищут мест глубоких, то переходят они ловить на каменную же сторону на север, где яр и очень глубоко. В это время ничего почти кроме омулей не попадалось... Гораздо удивительнее здесь в Байкале пребывание тюленей, кои иначе из океана недалеко в реки заходят, и в наши времена в Енисее и в Ангаре никогда их не видывали, и так или чрезвычайною какою земли переменою или другим каким редким и необычайным случаем они сюда забрались.

Сверх того если есть что редкое и в одном только Байкале и водится, то рыбка, которую русские коломенкою называют<sup>1</sup>... Она есть собою столь тверда, как кусок сала, и справедливо так жирна, что если жарить, так одни только спинные позвонки останутся, а прочее все расплывается. В сети она никогда не попадает и живой еще никогда не видывали. Здесь не без вероятности заключают, что она держится в глубочайших только Байкала хлябях, каковые по середке и на северной каменной стороне изведаны»<sup>2</sup>.

Не менее интересные цитаты можно привести и из «Дневных записок» И. И. Лепёхина. Путешествуя по Прикаспийской низменности, ученый много внимания уделил соленым озерам и добыче в них соли. Вот

как он описывает, например, знаменитое оз. Эльтон: «Озеро Эльтон в окружности своей имеет слишком шестьдесят верст. Берега его местами отлогие, а местами крутоваты, особливо около урочища, Яицкий шлях называемого. Отлогие пади состоят по большей части из глины разных цветов, как то синей, желтоватой, красноватой, из которых последняя более всех изобилует. Крутецы берегов наполнены известным камнем, в котором видны знаки окаменелых черепокожих. С известным камнем перемешан красноватый камень, шист называемый. Дно озера от берегов на несколько сажень состоит из вязкого илу, который имеет вкус обыкновенной поваренной соли; прочее дно озера устилает соль. Десять лет тому назад, как озеро сие покрыто было солью наподобие льду, но ныне год от году рапа<sup>1</sup> прибавляется. В нашу бытность в самых мелких местах рапы было около пяти четвертей, а в дождливые годы иногда в груди человеку возрастает, что много препятствует рабочим людям в ломке, ибо рапа, будучи тяжела, людей подымает на верх, как пузырь»<sup>2</sup>.

Весь второй и часть третьего тома сочинений Лепёхина посвящены его путешествию по Уралу, который к тому времени превратился в крупнейший горнопромышленный район России. Автор довольно детально описал многие месторождения, рудники, заводы. Вот одно из таких описаний: «В 3 верстах от сего завода находится медный рудник, Гумешевским прозываемый, принадлежащий Полевскому заводу. Для отменностей и богатого содержания можно почесть его главою всех уральских рудников. Положение свое имеет на плоской горе и в мягкой глинистой земле, где столбами или гнездами попадает та медная осадка, которую описатели ископаемых малахитом, а наши просто медянкою называют. Положение сего малахита, разные слои как целой жилы, так и каждого куска порознь, включенные в

<sup>1</sup> П. С. Паллас. Путешествие по разным провинциям Российского государства. Часть I, СПб, 1773, стр. 153—155.

<sup>2</sup> Там же. Часть III, половина первая, СПб, 1788, стр. 135.

<sup>3</sup> Посольский монастырь находился на восточном берегу Байкала. Приведенное ниже списание сделано Палласом на обратном пути следования через озеро.

<sup>1</sup> Название этой удивительной и уникальной рыбки — голомянки. Она водится только в Байкале.

<sup>2</sup> П. С. Паллас. Путешествие по разным провинциям Российского государства. Часть III, половина первая, СПб, 1788, стр. 400—406.

<sup>1</sup> Рапа — насыщенная солями вода соленых озер.

<sup>2</sup> И. И. Лепёхин. Дневные записки. Часть I, СПб, 1795, стр. 406—407.



Петр Симон Паллас (1741—1811 гг.) — выдающийся естествоиспытатель, действительный член Петербургской Академии наук, один из первых исследователей природы России, руководитель академических экспедиций. Был членом ряда иностранных академий и научных обществ. В честь Палласа названы некоторые растения и животные, вулкан Курильских о-вов и риф у Новой Гвинеи. Автор многотомных трудов о географии России на русском и немецком языках



Иван Иванович Лепёхин (1740—1802 гг.) — один из виднейших русских ученых-путешественников, действительный член Петербургской Академии наук, руководитель одного из отрядов Академических экспедиций. С 1783 г. — неперенный секретарь Российской академии. Научные исследования Лепёхина охватывали широкий круг вопросов естествознания, этнографии, экономики и разумного использования природных ресурсов (земных недр, лесов и пр.)



Иоганн Готлиб (Иван Иванович) Георги (1729—1802 гг.) — известный этнограф и путешественник, участник Академических экспедиций. С 1783 г. — действительный член Петербургской Академии наук. Один из первых исследователей оз. Байкал, крупный натуралист. В честь него в XVIII в. привезенные из Мексики в Европу крупные яркие цветы были названы георгинами

малахите посторонние вещи, как галки, прутики и проч. и разнообразные пустоты ясно доказывают, что малахит делается временно и от осадки. Тут можно было видеть разные штуфы, в которых природа разнообразными изображениями играла: иные изображали порядочно начертанные геометрические фигуры, другие геометрические тела; иные представляли вид растений, другие разных натуральных вещей показывали начертание. Кроме разнообразных изображений гумешевский малахит показывал все роды горной зелени: нередко были куски, в которых зелень разной густоты примечалась. Чем проще и выше был цвет, тем меньше в нем было примеси: напротив того, чем темнее, тем более содержала в себе железа. Доказывало сие простое пережигание и магнит. Кажется, что нетрудно определить рождение сего малахита. Красноватые глины, а особливо в которых несколько мыльности чувствуется по

промывке дают самородную медь, которая, будучи разведена в водном элементе с примесом кислоты, и паки осажена, составит малахит»<sup>1</sup>.

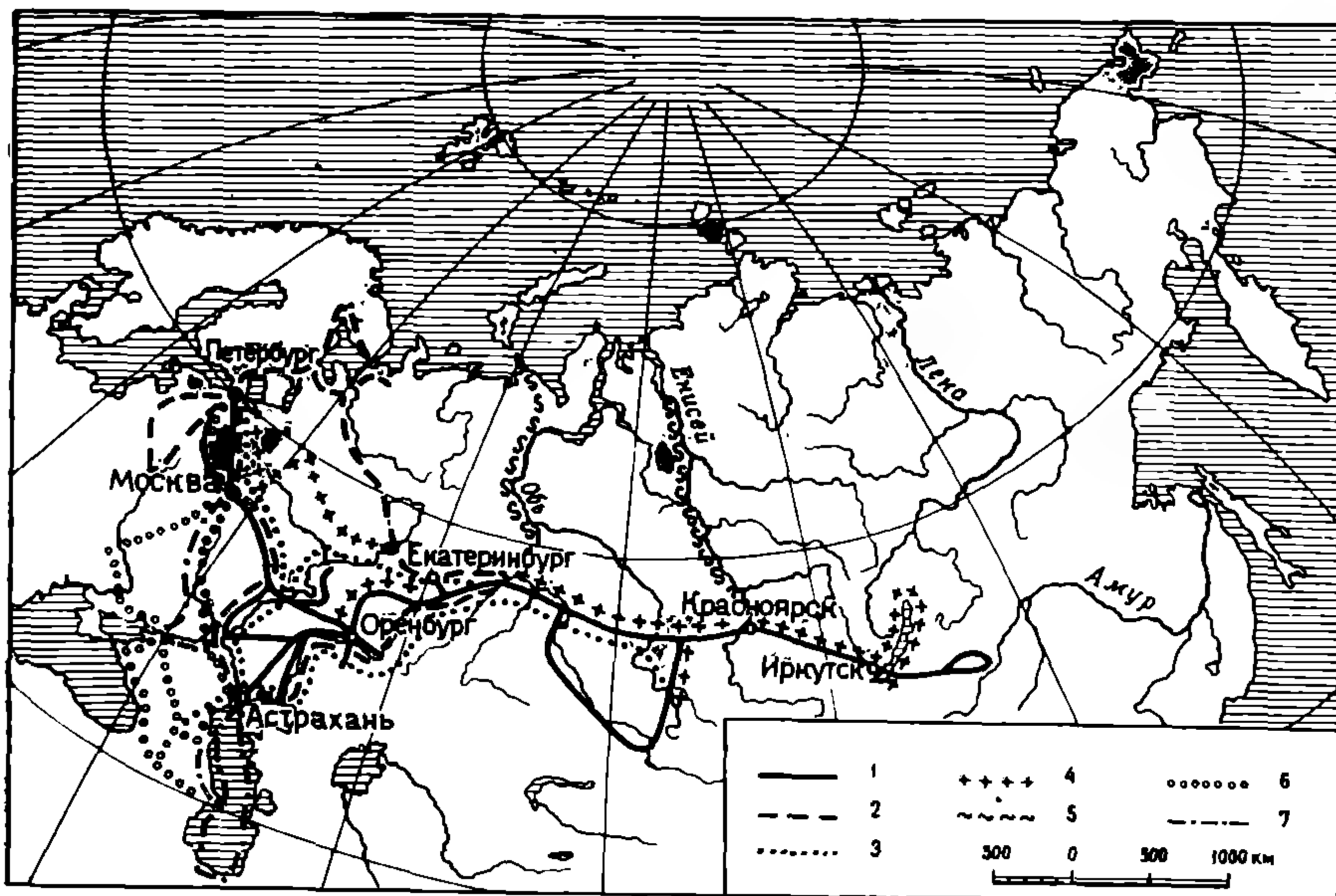
А вот цитата, не менее поучительная. Она показывает, как всесторонне Лепёхин рассматривал вопросы разумного использования природных ресурсов: «Если рассуждать по множеству железных руд на Урале, то смело можно сказать, что еще вдвое числом заводов в Урале построить можно. Не недостает к тому способных рек и выгодных мест, но надобно оглянуться на леса, которые у нас поистине не бесконечны. Ныне уже вздыхают по ним наши соседи шведы и начинают почитать их выше железа. Надобно рассмотреть и оковых жителей число и их состояние; надлежит предвидеть и то, чтоб другие, которые наших земных недр сокровищами пользуются, не предписывали нам цену оных, но

чтоб мы могли им продавать по нашей воле»<sup>1</sup>.

Приведу также описание Барабинской степи, составленное руководителем еще одного отряда — И. П. Фальком: «Барабинская степь или Бараба... от севера и юга более 600 верст долготы, и от запада к востоку до 400 верст широты... Она исполнена озерами; местами видны черные и смешанные леса, из коих самый большой есть урман при Оби... Большая часть степи покрыта рассеянно растущими березами (это неплохо сопоставить с современными ландшафтами Барабинской степи. — Е. Я). Собственно Бараба низменна, по большей части покрыта на 2 фута плодоносящей рыхлой землей на глинистом основании, местами же идет сухой бор. Дол на сей равнине состоит из больших и малых высохших озер, болот и провалов, поросших лесом или влажных, или более и

<sup>1</sup> И. И. Лепёхин. Дневные записки.. Часть II, СПб, 1802, стр. 272—274.

<sup>1</sup> Там же, стр. 271.



Карта главных маршрутов Академических экспедиций: П. С. Паллас (1), И. И. Лепёхин (2), И. П. Фальк (3), И. Г. Георги (4), В. Ф. Зуев (5), И. А. Гюльденштедт (6), С. Г. Гмелин (7)

менее высохших и покрытых камышом. Около многих озер и низких мест находятся солончаки или лужи, при высыхании оставляющие соляной иней и окруженные соляными растениями. Землю по всей Барабе можно назвать соленою, но сие не препятствует ее плодородию. Большая часть сухих плоскостей весьма хороша для посева хлеба, и таковых мест выйдет до 100 000 десятин, но, к сожалению, лежат оные в запустении. Все показывает, что Бараба была озерное русло и прежде имела более озер и болот, нежели ныне: да и сами барабинцы утверждают, что озера, камышники, болота и лужи приметным образом уменьшаются и зарастают»<sup>1</sup>.

Подобных выдержек из трудов участников Академических экспедиций можно было бы привести сколько угодно. Но и эти немногочисленные и, может быть, даже не самые удачные цитаты показывают, насколько разносторонни были интересы русских естествоиспытателей XVIII в. Я намеренно не комментирую приведенные выдержки, пусть наш современник сам оценит их. Скажу лишь, что эти фундаментальные и богато

иллюстрированные труды были насыщены таким количеством нового материала, а собранные путешественниками коллекции были настолько ценными, что ими долго пользовались почти все ученые, изучавшие природу России в более позднее время.

Высоко ценил заслуги Палласа известный русский естествоиспытатель Н. А. Северцов. Он писал: «Нет отрасли естественных наук, в которой Паллас не проложил бы нового пути, не оставил бы гениального образца для следовавших за ним исследователей... Он подал пример неслыханной до него точности в научной обработке собранных им материалов». А вот что сказал о Лепёхине его ученик по академической гимназии (впоследствии академик) А. Ф. Севастьянов: «Ума был быстрого, в суждениях тверд, в исследованиях точен, в наблюдениях верен». Блестящие характеристики!

Сейчас Академия наук СССР ежегодно направляет многочисленные экспедиции в разные районы нашей страны. Цели и задачи их значительно разнообразнее и сложнее, чем те, которые ставили перед собой наши натуралисты XVIII в. Главная цель современных исследований — глубокое и всестороннее познание природы, необходимое для максимального

и наиболее рационального использования ее богатств на благо народа. Но нельзя забывать, что без длительного и кропотливого накопления знаний о природе России было бы невозможно решать ее современные сложные проблемы. Вот почему нам дороги имена наших замечательных натуралистов прошлых поколений, посвятивших себя служению отечественной науке.

УДК 910.2:006.12

<sup>1</sup> И. П. Фальк. Записки... Полное собрание ученых путешествий по России. т. VI, СПб, 1824, стр. 416—418.

# Жемчужные вьюрки

Р. Л. Потапов  
Кандидат биологических наук  
Ленинград

## Очерки

Орнитолог Ровальд Леонидович Потапов впервые попал на Памир много лет назад, еще студентом. Он проработал там шесть полевых сезонов, да еще несколько — в заповеднике Тигровая Балка, о котором написал интересную книгу, вышедшую в 1962 г. под тем же названием. Публикуемый очерк посвящен наблюдениям за жизнью и размножением малоизученных птиц — жемчужных вьюрков, приспособившихся к условиям обитания в суровых высокогорных пустынях.

Во время экскурсий в поисках уларов или их гнезд, когда приходилось подниматься особенно высоко, мне чаще всего встречались на больших высотах горные, или, как их еще называют, жемчужные вьюрки. Бывает, лезешь, лезешь вверх метр за метром — 4600 метров... 4700... еще выше... Уже давно остались внизу пересвисты каменок, трели завирушек, суетливое циканье горихвостки. Только где-то вдалеке, примерно на одном уровне со мной, свистят улары. И, вдруг, откуда-то сверху, от самых вечных снегов проносятся вниз стремительные силуэты жемчужных вьюрков. Это

прекрасные летуны, и любой ветер им нипочем.

На Памире жемчужных вьюрков можно встретить почти везде, от самых низких долин вплоть до линии вечных снегов, а иногда и за нею. Обычно они держатся небольшими обществами, которые осенью сбиваются в громадные стаи по несколько сотен птиц. Это самая многочисленная птица Памира. Их много также на Тянь-Шане и в других горах Средней Азии. Приходилось только удивляться, что до самого последнего времени никому из зоологов не удавалось найти на территории нашей страны гнезд этих птиц. Гималайским жемчужным вьюркам в этом отношении повезло больше, и в 30-х годах английским исследователям удалось разыскать два гнезда с яйцами. Таким образом, зоологи могли похвастать пока только двумя найденными гнездами — не очень много, если учесть, что вьюрки — одна из самых многочисленных птиц горных стран Центральной и Средней Азии.

Оставались совершенно неизвестными птенцы жемчужных вьюрков, а о гнездовой жизни памирских и тяньшаньских подвигов вообще не было никаких сведений. В чем же дело?

С первого же года моей работы на Памире я стал предпринимать попытки найти гнезда горных вьюрков. Поиски начались в мае, с нижних частей склонов, у первых скал. Постепенно, из сезона в сезон, район поисков переносился все выше, вплоть до вечных снегов. Наиболее интенсивные поиски велись в июле. Напомню, что никто не знал ни мест, ни сроков размножения. При помощи отстрела птиц и анализа состояния половых желез удалось установить, что раньше июля гнезда искать бессмысленно, самки принимаются за их сооружение только в первых числах этого месяца.

Вьюрки в период размножения продолжают держаться стаями. Логично было бы предположить, что они гнездятся колониями, но нет! Долгие наблюдения за кормящимися на лужках стаями показали, что

состав их очень непостоянен. То и дело от стай отделяются одиночные птицы или пары и летят вверх на склоны, а им на смену прилетают, также одиночками или парами, другие. Нужно было лезть выше по склонам и там, среди осыпей и скал, выслеживать одиночных птиц в надежде, что они приведут к гнезду. И без того трудная задача усложнялась тем обстоятельством, что часть вьюрков, примерно треть, ежегодно не участвовала в размножении, ведя холостой образ жизни. Узнать же, кто перед тобой — возвращающаяся к гнезду птица или прогуливающийся холостяк, было невозможно.

...Шел четвертый сезон моей работы. Дни проходили за днями, но результатов все не было. Откровенно говоря, мне это уже надоело. Должны же быть у них гнезда!

И, наконец, сбилось!

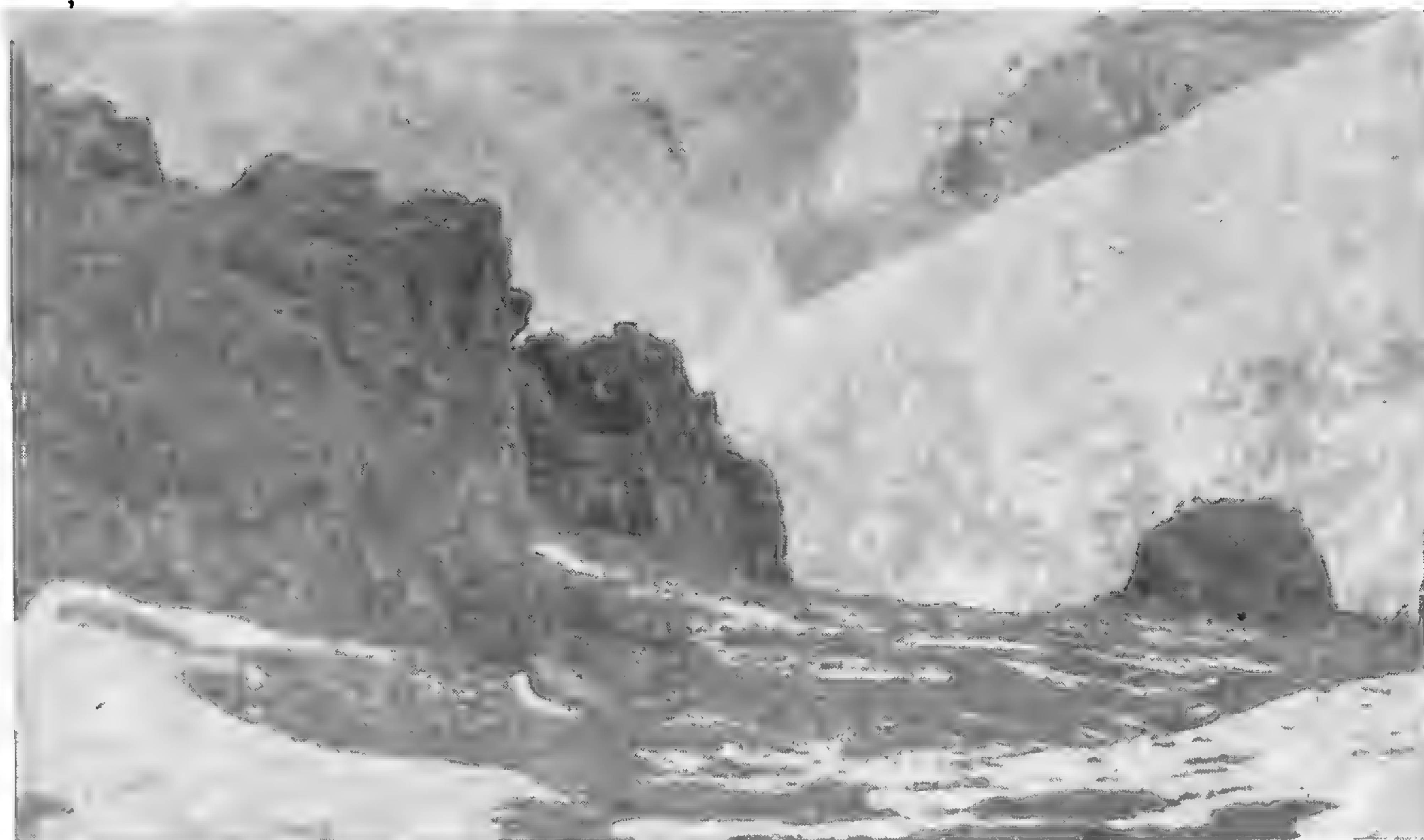
Стоял ничем не примечательный ясный августовский день. С утра

все было как обычно. Выход до рассвета, утомительный подъем на склоны до высоты 4700—4800 м. Там в одном месте у меня был «подозрительный» кулуар, где концентрировались поиски последних дней. С рассветом началась слежка. Я расположился посередине большого камнепада, ограниченного с одной стороны скальной стенкой. Стояла тишина, только улары пересвистывались где-то поблизости. Но вот знакомая позывка: «Чрр... чррр...» — снизу тяжело поднимается вьюрок. Он присаживается на камень метрах в двадцати от меня, сидит несколько секунд, оглядываясь, затем срывается и летит дальше вверх. Насколько возможно, я слежу за ним в бинокль, засекаю то место, где он скрывается из виду, и быстро перемещаюсь туда. Опять тянется долгое ожидание. Вниз вьюрки проносятся то и дело, но меня они сейчас не интересуют, потому что проследить, откуда они мчатся, невозможно. Проходит час, еще полчаса. Поблизости птицы

больше не появляются. Но вот в стороне выпархивает еще одна. Та же это самая или другая — неизвестно. Птица ведет себя довольно подозрительно, слегка беспокоится, крутит головкой, затем летит вверх и пропадает метрах в тридцати выше. Опять я перемещаюсь, опять жду...

Поднимается ветер. Он шумит и завывает в скалах, слышимость стала гораздо хуже. Некоторое время надо мною кружит бородач, привлеченный, видимо, неподвижностью моей фигуры; на большой скорости проморгнула стая скалистых голубей. В августе они поднимаются на кормежку очень высоко, кормясь на маленьких альпийских лужайках семенами живородящей гречихи, очень урожайной травки. Вьюрков вокруг почти не видно; голоса слышны, но далеко.

Три часа дня... Уверенный, что день опять пропал, я решаю еще раз попытать счастья и переместиться



Типичная высокогорная пустыня на Памире. Весна, тает снег. Скоро сюда поднимутся для размножения стайки вьюрков



Вот оно, гнездо жемчужного вьюрка! Так открыто, конечно, гнезда не располагаются: чтобы его сфотографировать, камни сверху пришлось снять

наискось метров на триста, на другой склон кулуара.

И вдруг (боюсь, что читателю уже надоели эти «вдруг» и «внезапно», но именно так и происходят все интересные встречи и находки), когда я еще шел не таясь, метрах в тридцати от меня на камни сел вьюрок. Я замер. Чиркнув раза два и повертевшись на месте, он вдруг как сквозь землю провалился. Выждав несколько секунд, я рывком бросился вверх, к этому месту, и затаился вновь. Передо мной была груда мелкого плитняка, изобилующего щелями и дырками. Минуты через две из одной выскочил вьюрок и ринулся вниз по склону. Швырнув кепку туда, откуда он вылетел (сбиться среди однообразных камней в таких поисках — дело минуты), я начал методично переэрачивать камень за камнем. От волнения в голове шумело, дыхание прерывалось. Камни с шумом катились вниз. Неужели опять не то? Нет, не может быть! Еще камень, еще... Внимательно гляжу в щели, прежде чем отвернуть очередную плиту. Но что такое, никак пучок соломы? А дальше? Осторожно! Не волноваться, чуть приподнять вот этот камешек сбоку... есть! Гнездо!! С птенцами!!!

Никогда, пожалуй, я не испытывал такого восторга, найдя гнездо, как в тот раз. Долгое напряжение многодневных поисков требовало немедленного выхода. Грудь распирало ликование, которое, вместе с нехваткой кислорода, дало удивительный эффект. Я топал ногами, воинственно размахивал руками и сипло кричал «ура!», перемежая его восторженным гоготаньем. На высоте 4800 м крики мои звучали приглушенно и гасли, не доходя ни до одного склона.

Здесь же через несколько дней я нашел еще одно гнездо жемчужного вьюрка, тоже с птенцами; а в следующем сезоне были найдены строящиеся гнезда и гнезда с полными кладками. Удалось, таким образом, проследить весь цикл гнездования. Работа с этими гнездами была исключительно трудоемка, на

один подъем к ним уходило три — три с половиной часа, но все это пустяки по сравнению с добытым материалом!

Что же удалось установить?

Брачные игры памирских жемчужных вьюрков начинаются в первые дни июля, когда, собственно, день уже начинает укорачиваться. Такое позднее — по сравнению с остальными птицами Памира — размножение объясняется прежде всего условиями питания. Вьюрок — птица исключительно растительноядная и выкармливает своих птенцов только семенами альпийских трав в стадии восковой или молочной спелости. Начало массового плодоношения растений и дает, очевидно, сигнал к началу размножения. Поскольку раньше созревают травы на субальпийских лугах, на самом «дне» нагорья, вьюрки сначала кормятся главным образом здесь, и тут же проходят первые брачные игры. Они очень просты. У самца даже нет песни. Перед спариванием он просто беспорядочно чирикает, прыгая вокруг самки с высоко поднятым хвостом и приспущенными крыльями.

Несмотря на то, что к началу размножения вьюрки кормятся и вообще проводят большую часть времени на высотах 3600—4200 м, т. е. — по памирским масштабам — очень низко, гнезда они сооружают высоко, там, где горы еще усеяны тающими снежинками. Ниже 4600 м искать гнезда бесполезно. Мне приходилось встречать птиц, таскавших корм в гнезда, на высоте 5 тыс. м, под самыми вечными снегами. Что заставляет вьюрков гнездиться так высоко? Мне думается, что главной причиной является влажность. При крайней общей сухости нагорья верхние пояса все же получают заметно больше осадков, и влажность воздуха там выше. Примечательно, что жемчужные вьюрки, пожалуй, единственные на Памире птицы, определенно предпочитающие для гнездования северные и западные склоны, значительно более холодные, чем южные, но зато получающие заметно больше влаги.

Удивление вызывают сами гнезда

вьюрков. На Памире, где ночные заморозки летом — вещь обычная, большинство мелких птиц строит очень теплые, с толстыми стенками гнезда, тщательно выстилая их слоем шерсти домашних и диких животных — коз, баранов, архаров, козорогов, сурков и яков. А вьюрки, гнездясь очень высоко, выше всех птиц, там, где ночные заморозки не прекращаются почти все лето, строят небольшие простенькие гнезда, причем утепляющий слой из шерсти или перьев отсутствует вовсе. Видимо, если птица очень плотно сидит в гнезде — а именно так и высиживают жемчужные вьюрки — необходимость в теплой выстилке отпадает.

Когда гнездо готово, самка откладывает четыре чисто белых яйца. Белые, без всякого пигмента, яйца обычно бывают у птиц, гнездящихся в дуплах или норах, куда не проникают лучи солнца. Среди вьюрковых птиц Северного полушария жемчужный вьюрок — единственный вид, несущий белые яйца. Это свидетельствует о большой древности гнездования в норах под камнями.

В первые дни насиживания, когда самка еще не сидит так плотно, она днем, в самое теплое время, слетает вниз на луга кормиться. Здесь самец начинает ее подкармливать — очевидно, для ускорения кормежки. Пока она набьет свой зоб мелкими семенами — а ведь каждое надо очистить! Но заставить самца кормить себя, видимо, не так просто, потому что в первое время самке очень долго приходится его просить. Она скачет в густой траве вслед за ним, пищит и трясет крыльями, как голодный птенец, недавно вылетевший из гнезда. Бьет, как говорится, на инстинкт. Подобные сценки, которые наблюдали некоторые зоологи, сбили последних с толку. Они приняли выпрашивающих корм самок за вылетевших из гнезд молодых птиц, решив, что вьюрки на Памире размножаются полтора месяцами раньше, чем на самом деле.

К концу насиживания самка все реже и реже отлучается из гнезда, и теперь уже самец регулярно сам поднимается сюда и кормит ее. Когда вылупляются птенчики, весящие всего два грамма и едва прикрытые ред-

ким пухом, самка в первые дни тоже не покидает гнезда, усердно греет птенчиков, и самец один кормит всех. Но постепенно и самка включается в эту операцию.

Учтите, что птице приходится таскать корм с лугов, нередко расположенных на целый километр по вертикали ниже гнезда. Семена же собираются и очищаются медленно, поэтому очень выгодно транспортировать сразу большие порции корма, кормить «редко, но метко».

Видимо, в процессе достаточно длительной эволюции в высокогорных условиях у жемчужных вьюрков выработалось замечательное приспособление для переноса больших порций семян, так называемые подъязычные мешки. Они образуются только на период выкармливания птенцов и развиваются раньше у самцов, поскольку они сначала кормят самок. Мускулы и кожа под языком птицы становятся чрезвычайно эластичными. Под давлением поступающих сюда семян они растягиваются, образуя два подъязычных мешка, способных вместить изрядную порцию корма. Этой порции обычно хватает, чтобы набить пищеводы всем птенцам за один присест.

Время кормления — самое трудное для вьюрков. От зари до зари они трудятся на зеленых лужайках гор, без устали очищая созревающие семена и набивая ими свои «сидоры». С кормом к гнезду они прилетают редко: один раз за сорок — пятьдесят минут. Мешки при этом набиваются так, что выпячиваются на горле, и перья на шее встают торчком. Вверх, к гнездам, вьюрки летят тяжело, с частыми остановками. Зато вниз они несутся во весь дух, используя все преимущества пикирования. Оторвавшись от склона, вьюрок делает несколько сильных взмахов и переходит на скользяще-пикирующий полет, двигаясь вниз параллельно склону со слегка отставленными назад крыльями. Когда скорость становится слишком высокой, а высота над склоном — небольшой, птица слегка тормозит полет несколькими взмахами крыльев. При этом скорость падает, а птица опять набирает высоту над склоном, и опять все повторяется

сначала. Скорость при таком полете временами бывает настолько велика, что за мчащимися птицами едва можно уследить взглядом. С отвесных скал вьюрки могут нестись вниз почти вертикально. Среди скал, обрывов, склонов пикирующий полет на такой скорости требует исключительно быстрой реакции на все изменения в пути, необычайно высокой маневренности.

Птенцы быстро растут, и количество корма, потребное им, неумолимо возрастает. Но массовое плодоношение трав к этому времени начинается на все больших и больших высотах, и «плодоносящая полоса», перемещаясь вверх, с каждым днем приближается к гнездам вьюрков, так что летать за кормом становится все ближе.

Наконец, наступает день вылета из гнезда. Выбравшись наружу, на яркий свет, птенцы в первый день сидят поблизости на каком-нибудь камне и, чвинькая, как наши воробьи, выпрашивают корм у пролетающих вьюрков. Потом выводки спускаются прямо на луга, где и остаются до конца лета. Собственно, конец лета наступает вскоре после вылета птенцов, в конце августа. Погода еще стоит хорошая, солнце сияет вовсю, но ночные заморозки становятся все сильнее, и над перевалами появляются первые стаи перелетных птиц.

Осенью вьюрки поднимаются к снежной линии и, сбиваясь в огромные стаи, живут в самых верхних частях хребтов. Отсюда их изгоняют только снегопады, которые с наступлением зимы постепенно сдвигают снежную линию все ниже и ниже. Наступает суровая, но малоснежная зима, и большая часть вьюрков откочевывает вниз, в теплые предгорья. Постоянный снеговой покров в большинстве межгорных понижений на Памире так и не устанавливается, что дает возможность птицам без помех разыскивать корм. Поэтому значительная часть вьюрков, в особенности старые птицы, остаются здесь на зимовку.

И хотя по ночам морозы усиливаются до пятидесяти градусов, днем

солнце успевает нагреть камни в укрытых от ветра местах до плюсовых температур. Днем вьюрки усиленно кормятся на бесснежных участках, собирая старые семена, греются на солнцепеке, словом, запасают энергию на морозную ночь. Ночуют они в небольших пещерах, где спят целыми стайками, тесно прижавшись друг к другу.

...Ветреный майский день. Солнце то и дело скрывается за низкими рваными тучами. Бесформенными массами они ползут друг за другом, натываясь на гребни хребтов. Только что пройдя сквозь такую тучку и порядком продрогнув, я отогреваюсь, втиснувшись меж двух темных вертикальных плит. Они нагреваются на солнце очень быстро, не успевая остыть за время, пока проходит туча, и мне здесь уютно, как в ладонях доброго сказочного великана. Десятью метрами выше — царство сплошного снега, ниже снег лежит разрозненными полями, четко выделяясь на темных осыпных склонах. Первозданный хаос вершин суров и безжизнен, от пейзажа веет чем-то инопланетным, мертвым. Но вдруг, совсем рядом, звучит знакомый чиркающий позыв. Прямо под моими ногами на снежное пятно опустилась хлопотливая стайка жемчужных вьюрков. Они перекликаются короткими позывками, бодро прыгают по снегу и умудряются что-то еще склевывать с его поверхности. Инопланетный мираж рушится сразу. Горы вокруг становятся как будто теплее, мягче, вновь делаются земными, и мертвое дыхание космоса уходит куда-то вверх, к ледяным граням шеститысячника, громоздящегося над моей головой...

УДК 598.2'9

## Заметки, наблюдения

## Каменные знаки

Как вы думаете, что изображено на фотографии? Участок лунной поверхности, на которой видны остатки вулканов? Отпечатки каких-то неизвестных нам животных, растений? Или это следы неизвестных загадочных явлений?

Странные отпечатки обнаружены в кремнистой породе — яшме, найденной на вершине горы Бугулыгыр на Южном Урале. Яшма не имеет кра-



Загадочные каменные знаки из бугулыгырских яшм Южного Урала

сивой пестрой окраски и рисунка, какими славятся ее знаменитые орские разновидности. Она окрашена в однотонный темно-красный цвет, а тонкая ленточная слоистость ее указывает на то, что осадок, из которого образовалась впоследствии яшма, отложился в озерных условиях. Следов таких крупных отпечатков никогда еще не находили. Есть упоминание лишь об остатках микроскопических скелетов морских животных — радиолярий. Однако расположение радиолярий показывает, что их скелеты были принесены вместе с другими механическими частичками и поэтому судить о морском происхождении породы по ним нельзя.

Что же представляют собой эти следы? Они имеют правильное округлое очертание с диаметром от 11 до 23 мм. Центральная часть их образована идеально круглой плоской площадкой, в середине которой находится маленькое, но хорошо заметное отверстие. Площадка окружена довольно широким кольцом различной высоты. Один сектор кольца — это валик, возвышающийся над плоской площадкой. С обеих сторон он постепенно снижается и в противоположном секторе переходит в небольшое углубление. В боковых секторах хорошо видны радиальные ребрышки (реснички), которые располагаются только на внешнем кольце и не заходят на плоскую площадку. Все эти отпечатки имеют нерезкие границы с вмещающей их горной породой, но контуры их все же видны ясно.

Характерная особенность каменных знаков — это совершенно одинаковая форма, строение и ориентировка в пространстве. Единого мнения среди ученых о происхождении таких отпечатков пока нет. Одни считают их остатками еще неизвестных науке организмов, другие думают, что это следы дождевых капель. Возможны и другие предположения. Нам кажется, что эти знаки действительно неорганического происхождения, но возникли они на дне водоема. По-видимому, первичный илистый осадок в озере состоял из тонкоразмельченных глинистых и карбонатных частичек с примесью принесенных вместе с ними обломков и

целых скелетов радиолярий. В таких застойных осадках, вероятно, был газ. Если газ (или воздух) выходит на поверхность, то на вязком иле он оставляет углубление, подобное кратеру, с вертикальными стенками и центральным отверстием. Если допустить, что газ (или воздух) не сможет выйти на поверхность, то он взорвется внутри вязкого илистого осадка. Сила давления газа в момент взрыва образует круглую, сильно уплотненную и слегка вдавленную поверхность, размер которой определяет величину пузырька. При взрыве газ устремляется в стороны от места его выхода и образует углубление на внешнем кольце, а на противоположной стороне — валик. Следы таких взрывов пузырьков газа (или воздуха) в вязком илистом осадке древнего озерного водоема, по-видимому, и сохранила для нас горная порода. Впоследствии глинистые и карбонатные частицы ее были замещены кремнекислотой и образовалась новая кремнистая порода — яшма. Такая расшифровка загадочных знаков в бугулыгырской яшме позволяет восстановить историю ее образования, которая носит следы тройного рождения: сначала это был озерный ил, затем из него возникла слоистая горная порода и только уже из нее образовалась яшма. Однако считать тайну каменных знаков полностью разгаданной рано.

Н. П. Малахова

Доктор геолого-минералогических наук  
Свердловск

# Новости науки

Премия имени  
 Н. С. Курнакова  
 Премия имени  
 Ф. П. Саваренского  
 Природные лаборатории  
 Экстракты из облученных  
 растений  
 Проблемы получения  
 кормового белка  
 Кислородная «кормушка»  
 для рыб  
 Растения — индикаторы  
 космических трасс  
 Открытие быстрозатухающих  
 рентгеновских излучений из  
 космоса  
 Квазар — мощный рентгенов-  
 ский источник  
 Существуют ли во вселенной  
 «черные дырки»?  
 «Твист» газовых молекул  
 в магнитном поле  
 Новые методы определения  
 возраста предметов  
 Подвижной протез руки  
 Кардитрон  
 10 тысяч шаров-зондов  
 К заметке «10 тысяч  
 шаров-зондов»  
 Тропический эксперимент  
 Мировые запасы топлива  
 Лечебные свойства томатов  
 Усиление терапевтического  
 действия антибиотиков  
 Потери веса при космических  
 полетах  
 Пробная пересадка почки  
 Мухи против мух  
 Конкуренция среди  
 насекомых-паразитов  
 Пингимаия с острова  
 Ириомоте  
 Анабиоз при обезвоживании  
 Новый заповедник

## Премия имени Н. С. Курнакова

Президиум АН СССР присудил премию имени Н. С. Курнакова 1967 г. доктору химических наук Марку Ильичу Равичу и кандидату химических наук Фаине Ефимовне Боровой (Институт общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова АН СССР) за цикл работ по изучению фазовых равновесий в некоторых водносолевых системах в надкритических условиях.

Авторы провели обширные и уникальные исследования фазовых равновесий в водносолевых системах при температурах до 500—600°С и давлениях, достигающих 2500 атм. Чрезвычайно высокие концентрации растворов при этих условиях требовали разработки специальных оригинальных методов исследования, основанных на измерении давления, которое меняется в результате растворения соли, сопровождающегося сжатием системы.

Исследованы двойные системы из сульфатов натрия, лития и калия и карбоната натрия с водой в надкритических областях в широком диапазоне изменений температур и давлений. Обнаружены общие закономерности растворимости солей в надкритических условиях и выявлены неизвестные для водносолевых систем параметры существования верхних трехфазной и двухфазной областей, а также параметры второй критической точки  $Q$ , известной ранее лишь для некоторых неводных систем и для системы  $SiO_2 - H_2O$ . Обнаружение существования концентрированных водных растворов солей в надкритических условиях имеет важное практическое значение как для физико-химического обоснования процессов гидротермального переноса рудных компонентов, так и для подбора новых сред и выбора условий для гидротермального синтеза искусственных минералов и монокристаллов. Так, растворы  $K_2SO_4$  при 500°С и давлениях выше 1300 атм становятся хорошими растворителями вольфрамата кальция, что послужило основанием применения растворов  $K_2SO_4$  в качестве новой неагрессивной среды для гидротермального получения монокристаллов ( $CaWO_4$ ).

## Премия имени Ф. П. Саваренского

Президиум Академии наук СССР присудил премию имени Ф. П. Саваренского 1968 г. доктору геолого-минералогических наук Алексею Ивановичу Силину-Бекчурину (Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова) за монографию «Подземные воды Северной Африки», изданную в 1962 г.

Монография творчески обобщает отечественный и мировой опыт изучения подземных вод аридной зоны на примере огромной территории Северной Африки, поднимает престиж советской науки в разработке глобальных вопросов гидрогеологии. Ценная работа А. И. Силина-Бекчурина способствует решению проблемы водоснабжения в странах Северной Африки.

## Природные лаборатории

Главное управление по охране природы, заповедникам и охотничьему хозяйству Министерства сельского хозяйства СССР 12—18 февраля 1968 г. созвало первое за последние десять лет Всесоюзное совещание для обсуждения мер по улучшению деятельности заповедников нашей страны. В совещании приняли участие работники всех заповедников, общесоюзных и республиканских ведомств, учреждений и организаций по охране природы.

Заповедники, эти природные лаборатории, в последнее время привлекают большое внимание общественности. Они выполняют значительную и полезную работу по изучению, охране, восстановлению и обогащению природных ресурсов; однако заповедное дело в нашей стране пока еще не отвечает требованиям науки и народного хозяйства. То, что заповедники и их территории подвергались необоснованному сокращению в 1951 и 1961 гг., отрицательно сказалось на их деятельности. Существующая сеть заповедников все еще не обеспечивает выполнения стоящих перед ними задач. Во многих природных зонах, например Арктике,

и больших географических районах, таких как Северо-Восточная Сибирь, вообще нет заповедников. Площадь ряда заповедников недостаточна и на их природных комплексах чрезмерно сказывается влияние сопредельных, интенсивно используемых территорий. Заповедники страны находятся в подчинении 19 различных ведомств и лишены единого руководства даже в пределах союзных республик. Отсутствует общесоюзный научно-методический центр и специализированные периодические издания. Во многих заповедниках не хватает современного научного оборудования, плохо обстоит дело с транспортом и связью, не созданы условия для повышения научной квалификации сотрудников и т. п.

Обсудив несомненные успехи в работе заповедников, Совещание обратило особое внимание на недостатки в их деятельности и решило, что основной задачей заповедного дела в нашей стране должно быть сохранение сложившегося типа советского заповедника как территории, навечно изъятой из хозяйственного пользования, с режимом, исключающим всякую эксплуатацию природных богатств. Это важно подчеркнуть сейчас, когда роль заповедников в системе общегосударственных мероприятий по охране природы необычайно возросла. В дальнейшем она будет возрастать еще больше в связи с интенсивным вовлечением в хозяйственный оборот природных ресурсов страны.

Совещание отметило необходимость объединить общее руководство всеми заповедниками и передать его организации, не связанной с хозяйственным использованием природы, а также подчеркнуло крайнюю необходимость создания научно-исследовательского института по охране природы.

Научная работа в заповедниках должна быть ориентирована на многолетние исследования комплексного характера, которые должны проводиться стационарно, круглогодично, с обеспечением преемственности. Эксперименты, связанные с нарушением природного комплекса, недопустимы в пределах заповедников,

и для таких работ Совещание рекомендовало создать охранные зоны на прилежащих к заповедникам территориях.

Совещание пришло к выводу о необходимости категорически запретить интродукцию и акклиматизацию новых видов, никогда ранее не обитавших в заповедниках, так же как и применение каких бы то ни было химических препаратов, особенно ядохимикатов.

Заинтересованным организациям поручено разработать в течение 1968 г. перспективный план развития сети заповедников СССР. Вместе с тем признано, что заповедники не могут считаться единственной формой сохранения природы. Наряду с ними нужны и другие формы — для хозяйственных и рекреационных (от лат. *recreatio* — восстановление) целей.

Охрану ландшафта следует строить, используя различные виды ограничительного режима. В связи с этим рекомендовано разработать положения и статус о природных парках, памятниках природы и других формах охраняемых территорий.

В резолюции подчеркнуто, что в заповедниках допустим лишь научно-познавательный, а не спортивный и развлекательный туризм, который кое-где уже нанес непоправимый ущерб. Посещение заповедников должно проводиться только организованными группами в сопровождении работников заповедника, по строго определенным маршрутам.

Совещание приняло ряд других рекомендаций, в том числе просило редакции основных научных и научно-популярных журналов, в частности «Природу», информировать общественность о его результатах.

Профессор А. Г. Банников  
Москва

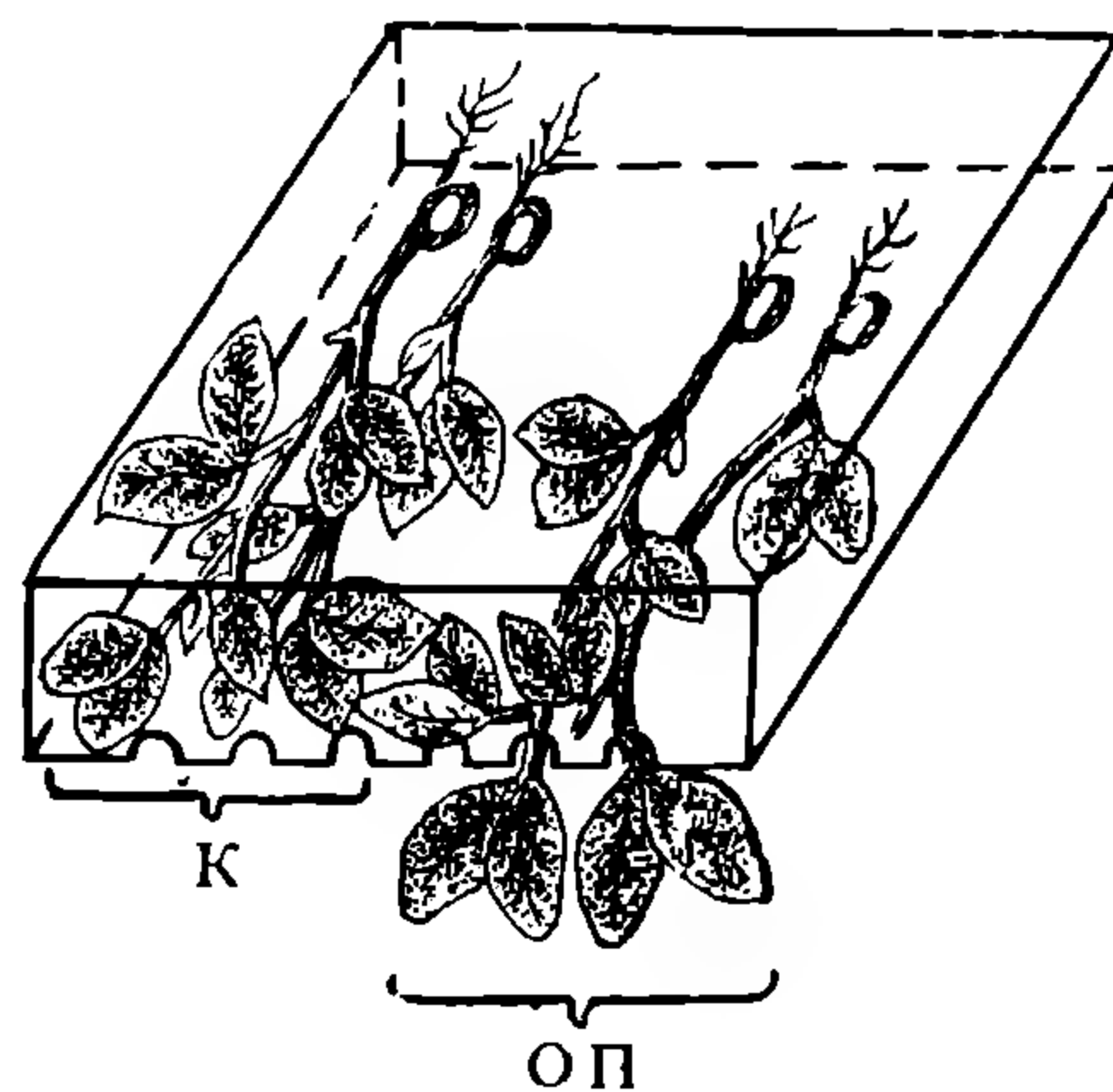
## Экстракты из облученных растений

Ионизирующие излучения в высоких дозах — 10 тыс. р и выше — вызывают угнетение роста растений.

Этому предшествуют изменения в обмене веществ: более интенсивными становятся процессы окисления, как правило, угнетаются процессы синтеза. В облученных растениях появляются вещества, которые в контрольных либо отсутствуют совсем, либо находятся в небольших количествах, не токсичных для растения.

Доказательством образования подобных веществ в облученных растениях было локальное облучение одного листа целого растения *Vicia fabia*. В таком листе появлялись вещества, которые, передвигаясь по растению, оказывали угнетающее влияние на деление клеток в отдаленных от облученного листа местах. Однако, если сразу же после облучения лист удалить, то эти вещества в растении обнаружить не удавалось. Экстракты, выделенные из облученного растения или даже его отдельных частей и введенные затем в контрольные растения, вызывали у них такие же эффекты, как и прямое действие радиации, но в меньшей степени.

Как установлено, образование подобных веществ в растениях в результате воздействия высоких доз радиации — общая закономерность для разных видов растений. Нами испытывались мята, бобы, лен, подсолнечник и др. Так же как и непосредственное действие радиации, экстракты из облученных растений угнетали деление клеток, вызывали повреждение ядер, что сопровожда-



Облучение дозой 25 кр первого листа бобов. Все растение экранировано свинцовой камерой. Слева — контроль

лось пикнозами (частичное отмирание ядра) и хромосомными поломками. Внешне все эти отклонения проявлялись либо в угнетении роста, либо в морфологических уродствах. При локальном облучении верхушки подсолнечника образовавшиеся в этом месте вещества, передвигаясь вниз по растению, вызвали различные отклонения от нормы. Конечное действие этих веществ проявилось в уродствах корзинок с семенами.

Таким образом, экстракты из облученных растений способны вызывать различные отклонения, а главное задерживать деление клеток и рост. В дальнейшем такие экстракты испытывали на растениях различных видов (тыква, бобы, фасоль, горох, подсолнечник, кукуруза) и во всех случаях они угнетали деление клеток.

Эти исследования позволили подойти к выяснению действия экстрактов из облученных растений на рост и деление животных клеток, как здоровых, так и пораженных злокачественной опухолью. При испытании экстрактов на клетках тканей крыс и мышей вне организма было обнаружено, что большинство клеток здоровых тканей сердца, легких, печени, почек, матки мало реагирует на действие таких экстрактов, в то же время клетки злокачественной ткани матки — карциномы Герена — не только угнетались в росте, но даже разрушались под влиянием экстрактов из облученных растений. Действие этих экстрактов оказывало губительное влияние и на другие виды злокачественных опухолей крыс и мышей, например, саркомы М-1 и Иенсена, а также асцитные штаммы Эрлиха и «ОЯ».

Клетки злокачественных опухолей после двухчасового инкубирования при 37° С с экстрактами из облученных растений гибли более чем на 50%. Последующее введение таких клеток в организм крыс сильно снижало прививаемость опухолей, что можно объяснить гибелью большей части клеток в присутствии экстрактов из облученных растений. Испытание экстрактов на животных *in vivo*, которым предварительно была привита опухоль, проводилась путем введения экстрактов в организм животного. Пе-

риодическое введение экстрактов в организм больного животного, вдали от опухоли, способствовало угнетению роста опухоли. Все исследования были проведены на животных, по своей организации далеко отстоящих от человека. Предстоят еще длительные и кропотливые эксперименты для выяснения побочного действия экстрактов из облученных растений на организм животного.

Л. М. Крюкова  
Кандидат биологических наук  
Москва

## Проблемы получения кормового белка

Дефицит белковых кормов — одна из причин, сдерживающих развитие животноводства. Увеличение производства кормового белка — важная задача, успешное разрешение которой будет способствовать интенсификации животноводства. Один из путей для разрешения этой задачи — производство белка в виде кормовых дрожжей, причем в качестве сырья используются различные растительные отходы. Сырьем могут служить отходы древесины хвойных и лиственных пород, а также камыш, солома. На гидролизатах хвойных пород получение кормовых дрожжей уже налажено.

Сотрудники Всесоюзного научно-исследовательского института гидролизной сульфитно-спиртовой промышленности М. Я. Калюжный, В. А. Иванюкович, Л. Н. Ванюгина провели исследования пригодности камыша, соломы, древесины березы, бука для выращивания кормовых дрожжей путем гидролиза<sup>1</sup>. Опыты по выращиванию дрожжей *Candida tropicalis* на гидролизатах древесных опилок из перечисленного сырья показали, что все они вполне пригодны для выращивания дрожжей. Реальный выход биомассы из этих гидролизатов составляет 200 — 300 кг на 1 т сухого сырья.

В СССР и в ряде других стран белок производится из различных растительных отходов. Современный уровень химической технологии и технической микробиологии позволяет ис-

пользовать также и нерастительные виды сырья, например углеводороды нефти.

Во Всесоюзном научно-исследовательском институте биосинтеза белковых веществ сотрудниками С. В. Чепиго, И. Д. Бойко, А. Д. Голлобовым и др. проводятся исследования, связанные с проблемой получения белка из углеводородов нефти<sup>1</sup>. В качестве сырья в промышленных условиях рекомендовано применять очищенные жидкие парафины, получаемые при депарафинизации дизельных топлив и содержащие минимальное количество ароматических углеводородов. Для синтеза белка наиболее целесообразно использовать дрожжи, в основном рода *Candida*. Белок дрожжей, выращенных на углеводородах, содержит все незаменимые аминокислоты, в том числе наиболее дефицитные — лизин, триптофан, метионин. Институтом «ВНИИ синтез-белок» разработана также технологическая схема производства кормовых дрожжей из очищенных жидких парафинов. Эта технология позволяет получить продукт, содержащий более 50% белка при содержании остаточных углеводородов менее 0,5%.

Л. М. Балакирева  
Москва

<sup>1</sup> «Прикладная биохимия и микробиология», т. III, 1967, вып. 5, стр. 577—587.

## Кислородная «кормушка» для рыб

В эту зиму мороз закрыл Урал такой плотной «крышкой», что рыбе буквально стало нечем дышать. И тогда на помощь речным обитателям пришли ихтиологи. Они установили на берегу специальный компрессор и стали нагнетать под лед обогащенный кислородом воздух — 300 м<sup>3</sup> спасительной смеси в час. Как показали анализы, сильное течение создает 60-километровую зону обогащенной кислородом воды — от Уральска вниз до поселка Коловертное. Сюда и устремилась рыба с нижнего течения Урала. Еще одна кислородная «кормушка» — компрессор-обогачитель был установлен и в верхнем течении Урала.

П. М. Крестьянинов  
Уральск

<sup>1</sup> «Прикладная биохимия и микробиология», т. III, 1967, вып. 6, стр. 680—685.

«ИЗВЕСТИЯ АН СССР, СЕРИЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ», 1968, № 1, стр. 126—129

## Растения — индикаторы космических трасс

Для оценки воздействия космической радиации и для биологической индикации трасс космических полетов на кораблях-спутниках, наряду с другими биологическими объектами, были использованы сухие семена высших растений. Результаты исследований на космических кораблях типа «Восток» и «Восход» показали, что в процессе прорастания семян происходят физиологические сдвиги, в некоторых случаях возникают статистически достоверные нарушения наследственных структур. Эти изменения невелики и не коррелируются с радиочувствительностью разных видов семян.

Н. Л. Делоне с сотрудниками проанализировали воздействие космической радиации на растения при полете на корабле «Космос-110». Во время этого полета доза ионизирующих излучений была значительно больше за счет радиационных поясов Земли, а воздействие невесомости более длительное (около 22 суток). В кабину корабля были помещены семена пшеницы озимой, ячменя ярового, гороха Капитал и сосны обыкновенной. При оценке чувствительности семян к действию факторов космического полета выбрали следующие показатели: всхожесть семян, энергия роста, число перестроек хромосом в первичных корешках.

Исследования показали, что у семян с пониженным процентом всхожести (сосна) после полета всхожесть увеличилась. Космическая радиация вызвала стимуляцию роста ячменя, причем разница с контролем наблюдалась до стадии колошения. Число перестроек хромосом в первичных корешках проростков у опытных растений не превышало контроля, лишь у сосны отмечено статистически достоверное увеличение числа перестроек.

В общем, результаты этого экспери-

мента не отличаются от данных, полученных после полета кораблей типа «Восток» и «Восход». Исследователи предполагают, что сухие семена высших растений и в дальнейшем будут использованы в качестве индикаторов космических трасс и как объекты, на которых можно изучать действие факторов космического полета и, прежде всего, ионизирующего излучения.

«SCIENCE JOURNAL», т. 4, 1968, № 1, стр. 6 (Англия)

## Открытие быстрозатухающих рентгеновских излучений ИЗ КОСМОСА

Группа австралийских физиков открыла новый вид космических источников рентгеновского излучения. Наблюдения проводились с помощью детекторов рентгеновских лучей на борту английских ракет «Скайларк», которые запускались с австралийского полигона Вумера. Оказалось, что мощность рентгеновского излучения объекта XR-2 в созвездии Центавра убывает приблизительно по экспоненте. За двадцатипятидневный период интенсивность излучения становится вдвое меньше.

В апреле прошлого года, через три недели после первого измерения интенсивности рентгеновского потока от XR-2, приборы зафиксировали уменьшение мощности на 30%, а спустя семь недель (американские данные) мощность рентгеновского излучения уменьшилась уже в 10 раз. Другой важный вывод из наблюдений: ослабление мощности сопровождается смягчением рентгеновского спектра.

По своему периоду ослабления (вдвое за 25 дней) источник XR-2 близок к Новым и Сверхновым звездам, что наводит на мысль о подобии этих явлений. Новый небесный объект лежит всего в нескольких градусах от галактического диска, где из-за непрозрачных сгущений межзвездной пыли и газа его чрезвычайно трудно отождествить с оптически ви-

димой звездой, характер изменения яркости которой был бы аналогичен наблюдаемому у этого источника излучению.

В настоящее время готовятся эксперименты с более чувствительными детекторами рентгеновского излучения, чтобы выявить новые объекты такого же типа и подробнее изучить их. Неожиданное открытие короткоживущих всплесков рентгеновского излучения ставит перед физиками и астрофизиками ряд важных проблем.

«SCIENCE HORIZONS», 1967, № 89, стр. 17 (США)

## Квазар — мощный рентгеновский источник

Квазар 3C-273 наблюдается в телескоп как слабая звезда тринадцатой величины<sup>1</sup>. Но в 1963 г. Маартен Шмидт из Калифорнийского технологического института после изучения спектра этого квазизвездного объекта обнаружил, что он лежит на расстоянии 1,5 млрд световых лет от Земли и испускает в сотни раз больше света, чем самая яркая галактика. Радиоизлучение 3C-273, превосходящее поток радиоволн от мощнейших радиогалактик, имеет особенность, необъясненную до сих пор. Оно состоит из двух источников, один из которых излучает само звездopodobное ядро квазара, а другой испускается концом длинного выброса из него. В результате экспериментов, проведенных с помощью ракет, американским исследователям удалось установить, что квазар 3C-273 — самый мощный известный источник рентгеновских лучей. Рентгеновская светимость квазара 3C-273 в 50 раз превышает его радиояркость и вдвое — его светимость в оптическом диапазоне. Поток рентгеновского излучения квазара 3C-273 доходит до Земли в тысячу раз более слабым, чем поток мощнейшего рентгеновского звездopodobного источника Sco XR-1. Последний находится на рас-

<sup>1</sup> О квазарах см. также: «Природа», 1967, № 8, стр. 119; № 11, стр. 118.

стоянии всего 500 световых лет от Земли, и по оценке Г. Фридмана действительная рентгеносветимость этого источника в миллион раз меньше рентгеновской мощности квазара 3C-273. По-видимому, такой большой поток рентгеновских лучей от 3C-273 вызван продолжающимися взрывными процессами в квазаре, в результате которых из его недр через промежутки от нескольких дней до нескольких лет выбрасываются облака релятивистских электронов.

---

«SCIENCE», т. 158, 1967, № 3806, стр. 1344 (США)

---

### Существуют ли во Вселенной «черные дырки»?

Одно из следствий общей теории относительности и предсказанного ею явления гравитационного коллапса — возможность существования совершенно необычного класса небесных объектов, названных Дж. Уилером «черными дырками».

Когда при взрыве Сверхновой звезды ее центральная часть чрезмерно уплотняется, то «распирающие» силы давления уступают силе гравитационного сжатия. Звезда сжимается до диаметра в несколько километров<sup>1</sup> и уплотняется настолько, что ее размеры приближаются к так называемому «радиусу Шварцшильда». При этом, как известно, гравитационные силы настолько велики, что пространство «захлопывается». Ни один луч света уже не вырывается наружу. Звезда становится невидимой и превращается в «черную дырку» космического пространства.

По мнению Дж. Уилера, «черные дырки» могут быть для Вселенной таким же обычным явлением, как и нормальные звезды, и встречаться так же часто. Таким образом, в «черных дырках» может находиться ненаблюдаемого вещества столько же, сколько и наблюдаемого в остальном пространстве.

Физики и астрономы начали поиск «черных дырок». Здесь в принципе существуют два пути. Во-первых, в

«черную дырку» может превратиться одна из звезд, входящая в состав двойной системы. Если одна из составляющих двойной звезды сколлапсирует в состояние «черной дырки», то вторая звезда должна, вероятно, «чувствовать» соседство своей провалившейся из нашего пространства напарницы. Присутствие «черной дырки», как надеются физики, способно вызвать изменения в движении второй, нормальной звезды.

Астрономам известно, что на движение многих видимых звезд оказывают воздействие их невидимые компаньоны. Однако ранее считали, что они невидимы лишь потому, что слишком стары, угасли и не в состоянии испускать такое количество световых лучей, которое возможно обнаружить. Вполне допустимо предположить, что эти невидимые члены двойных систем и есть «черные дырки».

Другой путь нахождения «черных дырок» — отождествление их с источниками рентгеновского излучения. Наталкиваясь на «черную дырку» и проваливаясь в нее, частицы межзвездного вещества должны испускать рентгеновские лучи. Если, скажем, «черная дырка» в двойной системе притягивает к себе и втягивает в себя вещество нормальной звезды, то образуется пара из оптически видимой звезды и «черной дырки», наблюдаемой как достаточно сильный дискретный рентгеновский источник. Когда ученые обнаружат такую пару, то с большой долей вероятности можно будет считать, что «черная дырка» наконец открыта. Если же спектр рентгеновского излучения этой пары совпадет с расчетным и действительно окажется гравитационного происхождения, то предположение о существовании колоссальных масс ненаблюдаемых сколлапсировавших объектов станет важным шагом на пути к полному пониманию природы Вселенной.

Примечание редакции. На возможность третьего пути указал советский астроном В. Д. Давыдов. В гравитационном поле «черной дырки» будут отклоняться лучи света лежащих за ней звезд, и «черная дырка» будет служить чем-то вроде линзы. По наблюдаемой густоте звезд можно

судить о местонахождении такой «линзы».

Следует также отметить, что важные работы по проблеме гравитационного коллапса и антиколлапса проводятся в СССР академиком Я. Б. Зельдовичем и его сотрудниками.

---

«SPECTRUM», т. 4, 1967, № 8, стр. 154 (США)

---

### «Твист» газовых молекул в магнитном поле

В ходе экспериментов, проводившихся учеными Мичиганского университета (США) под руководством Гиффорда Дж. Скотта, был обнаружен ряд неизвестных ранее особенностей поведения газовых молекул в слабых магнитных полях. Основу экспериментальной установки составлял подогретый стержень из немагнитного материала (меди), свободно подвешенный в вертикальной трубке, которая наполнялась различными разреженными газами и помещалась в магнитное поле напряженностью в несколько гаусс.

Установлено, что при разности температур между стержнем и газом на стержень со стороны газовых молекул начинала действовать сила кручения. Подробно исследовалась зависимость крутящего момента от направления и силы поля, давления и температуры газа и от других параметров. При этом были выявлены следующие особенности.

Сила кручения возникает при вертикальном направлении магнитного поля (оно параллельно стержню) и не возникает при горизонтальном. При изменении направления поля на противоположное меняется и знак крутящей силы. Сила кручения зависит от давления. Эта зависимость одинакова для всех газов и такова, что сила достигает максимума порядка  $10^3$  дин/см при давлениях около  $10^{-4}$  атм. Зависимость же от магнитного поля различна для различных газов, однако во всех случаях наблюдается максимум в области слабых полей. С изменением температуры, давления и силы поля величина крутящего момента может меняться более чем в тысячу раз.

<sup>1</sup> «Природа», 1960, № 11, стр. 14.

Все газы разделяются по отношению к вызываемой ими силе кручения на три группы. Газы первой группы (кислород, азот, углекислый газ и др.) и газы второй группы (метан, пропан, этан, бутан и др.) порождают взаимно противоположные моменты кручения. Газы же третьей группы (водород, гелий, водяные пары и др.) никакого крутящего момента не вызывают.

Пока не ясны перспективы практического применения новооткрытой силы, но изучение эффекта странного «твиста» газовых молекул в магнитном поле позволит понять на уровне мезомира механизм взаимодействия элементарных магнитных стрелок.

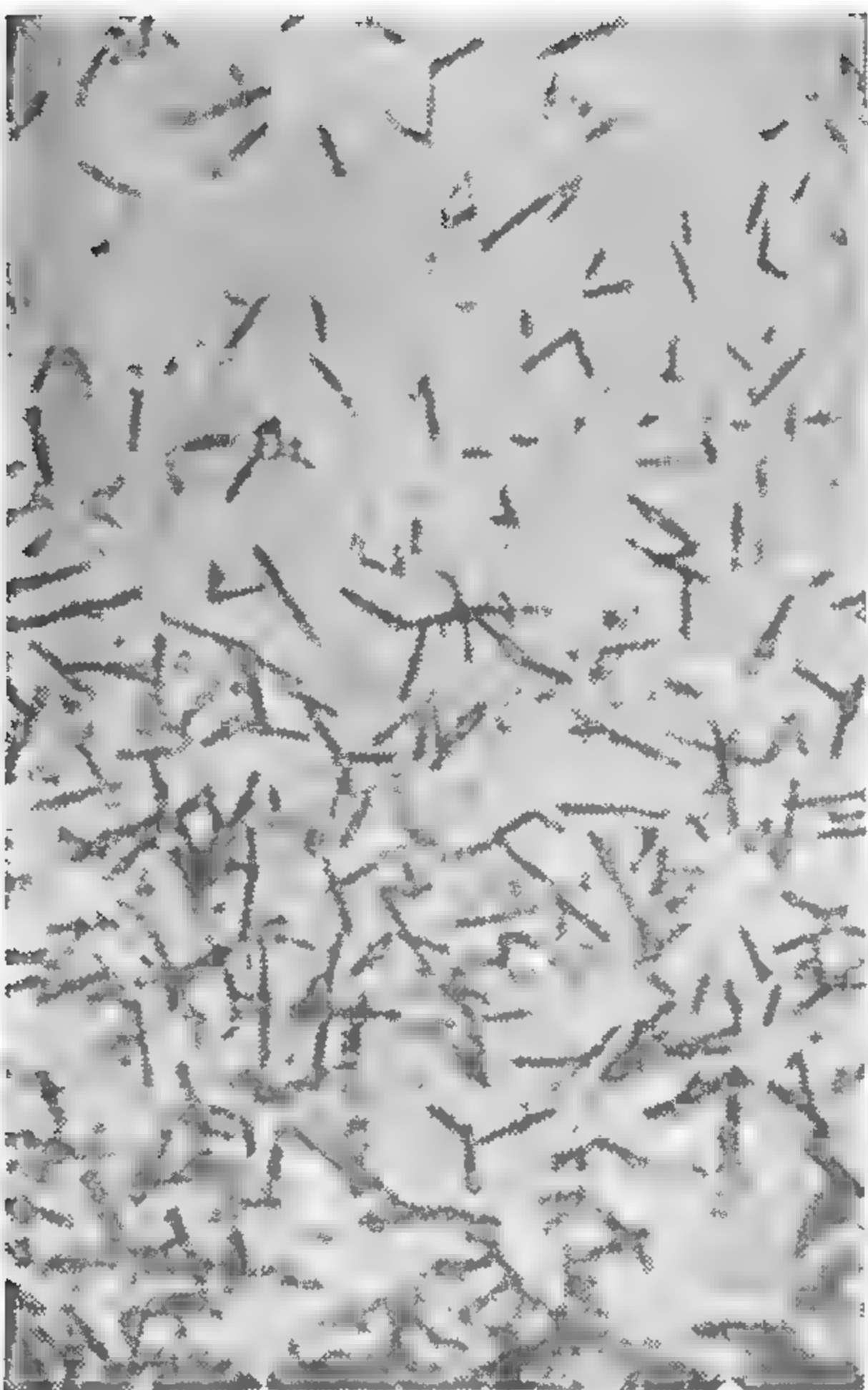
---

«NATURWISSENSCHAFTLICHE RUNDSCHAU», 1967, № 11, стр. 484 (ФРГ)

---

## Новые методы определения возраста предметов

В США разработаны два новых метода определения возраста предметов. Метод, основанный на применении радиоактивного углерода  $C^{14}$ , непригоден для очень малых или содер-



Естественные следы расщепления в цирконии.

жащих лишь следы радиоактивного материала объектов. К тому же возраст проб, определенных этим методом, отклоняется от исторических и дендрохронологических данных на несколько сот лет, что объясняется временными и местными колебаниями концентрации  $C^{14}$  в атмосфере<sup>1</sup>.

Разработанная американским физиком Уокером техника определения возраста основывается на том факте, что большинство камней и минералов содержит небольшое количество урана, при спонтанном делении которого внутри материала возникают крошечные следы. Эти следы шириной всего лишь в 10 атомных размеров трудно обнаружить в сколь угодно значительном количестве даже при рассмотрении через электронный микроскоп. Но если такие следы расширить травлением кислотой, их можно наблюдать через оптический микроскоп и подсчитать. Уокер и Прайс использовали это явление для определения возраста урансодержащего материала путем сопоставления следов с содержанием урана.

Другой метод оказался еще более точным. Основан он на  $\alpha$ -радиоактивности. Ядра урана испускают  $\alpha$ -частицы; само ядро при этом испытывает отдачу. Уокер обнаружил, что заметные отскакивания ядер происходят в 4000 раз чаще, чем образование видимых следов  $\alpha$ -частиц. После полной разработки эти методы, вероятно, можно будет применять для определения возраста сколь угодно малых предметов, даже изготовленных из таких материалов, в которых еще не успели появиться сколь угодно заметные количества следов расщепления.

---

<sup>1</sup> См. статью Л. С. Клейна «Археология спорит с физикой», «Природа», 1968, № 4.

---

«ELECTRONICS», т. 40, 1967, № 16, стр. 80—81 (США)

---

## Подвижной протез руки

В СССР и других странах уже сконструированы протезы кисти руки, способной схватывать и удерживать

предметы. Теперь на очереди более сложная задача. Шведские ученые разрабатывают искусственное предплечье с кистью руки, которая будет поворачиваться относительно запястья, совершая независимые движения пальцами. Протез будет управляться с помощью четырех пар мышц-антагонистов. Труднее всего добиться того, чтобы во время выполнения своих нормальных функций управляющие мышцы не вызывали нежелательных движений протеза.

Контактные электроды, передающие биотоки в механизм руки, вызывают раздражение кожи, поэтому шведы намерены вживлять в мышечные пары восемь частотно-модулированных передатчиков, которые будут воспринимать и передавать миоэлектрические управляющие сигналы.

Размеры передатчиков  $11 \times 5 \times 4$  мм, они потребляют мощность приблизительно 10 мквт, которая подводится от передатчика, закрепленного на руке.

Сигналы от вживленных передатчиков, модулированные напряжениями, возникающими при сокращении мышц, поступают в приемник, также закрепленный на коже, и через транзисторные усилители управляют смонтированными на протезе четырьмя исполнительными двигателями (серводвигателями). Один серводвигатель дает возможность сгибать или распрямлять пальцы. За секунду он позволяет сжать выпрямленные пальцы в кулак. Электродвигатель соединен с пальцами посредством двухскоростной передачи. До прикосновения пальцев к предмету система работает с более высоким коэффициентом передачи в режиме малой мощности. Когда пальцы схватывают предмет, система автоматически переключается в режим передачи повышенной мощности.

Каждый палец может оказывать на удерживаемый предмет давление до 9 кг. Три других двигателя управляют движением большого пальца, а также поворотом кисти относительно запястья.

«ELECTRONICS», т. 40, 1967,  
№ 16, стр. 63—64 (США)

### Кардитрон

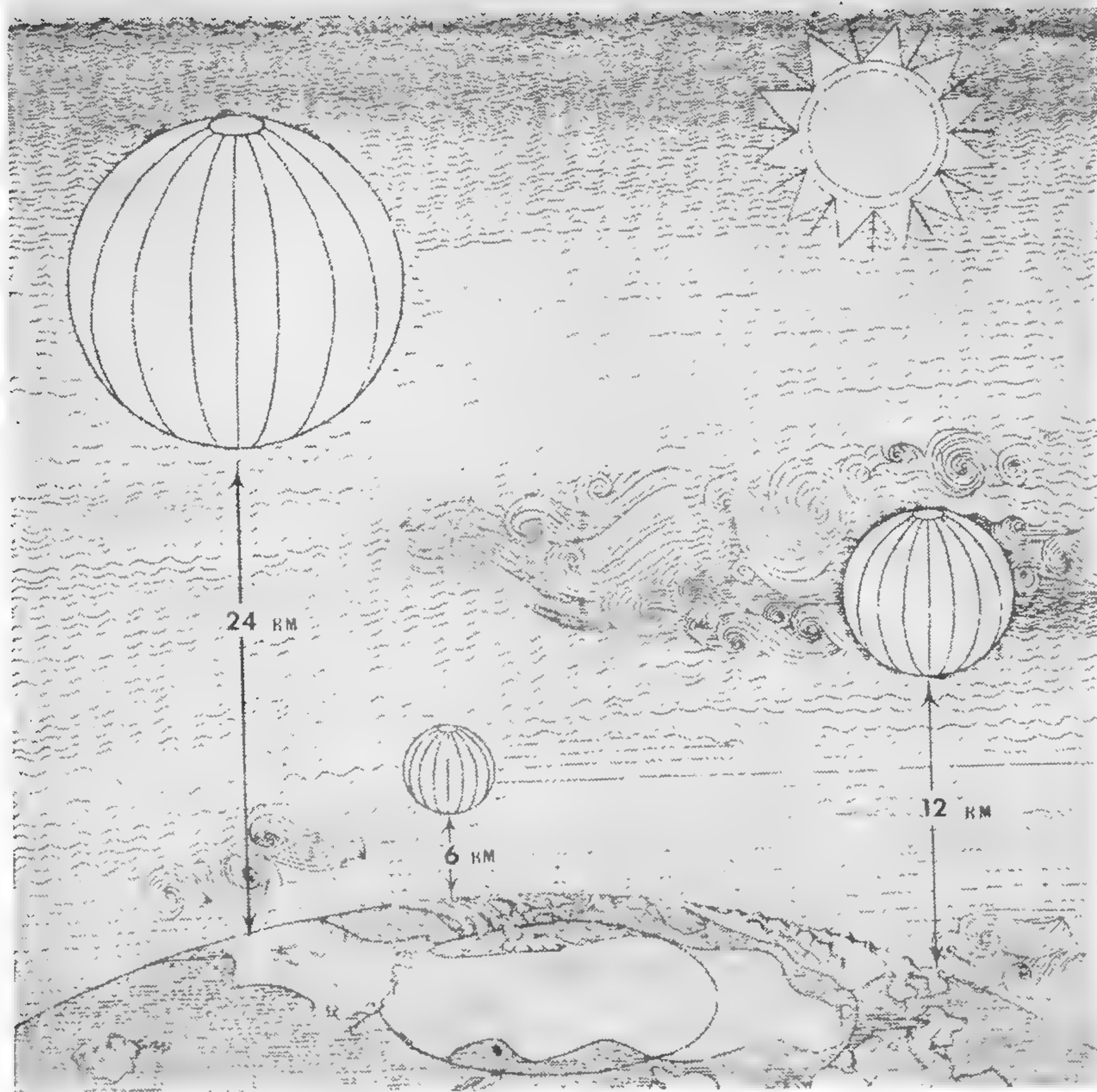
В США разработан электрокардиоскопический контрольный прибор «кардитрон», который облегчает визуальную оценку электрокардиограммы больного. На экране этого устройства изображение каждого сердечного цикла накладывается на изображение предыдущего, так что отчетливо видны даже самые слабые изменения формы электрокардиограммы. «Кардитрон» измеряет интервалы между пиками электрокардиограммы и таким образом сообщает об изменении частоты пульса.

Описанная система удобна еще и тем, что дает возможность использовать электроннолучевые трубки с экраном очень малого диаметра. Объем прибора около 250 см<sup>3</sup>, весит он всего 1,6 кг и потребляет мощность около 7 вт.

«FACILITIES FOR ATMOSPHERIC RESEARCH», 1967, № 1, стр. 1—3, № 2, стр. 7—8 (США)

### 10 тысяч шаров-зондов

Вскоре вокруг земного шара будет летать более 10 тыс. неуправляемых шаров-зондов, оборудованных чувствительными приборами и телеметрическими системами. Создание с их помощью глобальной системы метеорологического наблюдения — проект GHOST — предусматривает сбор данных о воздушных потоках, температуре, давлении, влажности. Эти данные будут собираться одним или несколькими спутниками и затем передаваться на наземную центральную станцию. В глобальном метеорологическом центре электронно-вычислительная машина, запрограммированная математической моделью общей атмосферной циркуляции, на основании полученных сведений станет давать долгосрочный прогноз погоды по всей Земле.



Первые запуски шаров-зондов по проекту GHOST осуществлялись в Южном полушарии американскими и новозеландскими метеорологами под руководством Винсента Э. Лэлли. Программа запусков была одобрена Международной метеорологической организацией. Главная цель эксперимента — определение времени «жизни» шаров, рассчитанных на высоты дрейфа в 6, 12 и 24 км и имеющие в диаметре соответственно 1,5, 2,26, и 7 м.

Запуски шаров производились из Крайстчерча (Новая Зеландия), а также с американской антарктической станции Мак-Мёрдо. 1,5-килограммовые шары, предназначенные для полетов на высотах 6 км, пробыли в воздухе около недели. Наиболее результативными оказались запуски шаров на высоту 12 км (в общей сложности их было запущено несколько десятков, в том числе 4 из Мак-Мёрдо). На этих высотах шары могут летать месяцы и годы, если

они благополучно, без обледенения, минуют облачные слои. Один из шаров за 74 дня, по данным станций слежения, совершил 8 облетов вокруг земного шара. Интересно движение шаров, запущенных в Мак-Мёрдо. Два из них продолжали оставаться в очень высоких широтах, один совершил дрейф к средним широтам и один сначала покинул полярную область, а затем вернулся туда, достигнув Южного Полюса, т.е. района, находящегося в 400 км от места запуска.

В дальнейшем предполагается запуск 50 шаров-зондов из полярной, среднеширотной и экваториальной областей. Три станции слежения, расположенные в Южном полушарии, будут собирать и обрабатывать данные метеорологических наблюдений и передавать их на электронно-вычислительную машину в глобальный центр. Для высот 24—30 км создаются долговечные шары-зонды, которые предназначены для изучения

месячных, сезонных и годовых вариаций радиоактивного и космического излучения, а также для исследования других факторов, влияющих на погоду в нижних слоях атмосферы.

## Комментарий

Зондирование атмосферы с помощью самолетов, аэростатов, шаров-пилотов и специальных радиозондов обогатило науку об атмосфере столь недостававшими ей данными о воздушных течениях в верхних слоях атмосферы и их физических свойствах. Оно позволило также начать составление карт распределения давления на различных высотах в атмосфере. Постепенно обнаружилось некоторые важные и не известные ранее особенности атмосферной циркуляции. На высотах около 8—10 км было обнаружено существование совершенно неведомых до того «струйных течений», в которых частицы воздуха несутся широкой рекой почти прямолинейно, со сверхуреганными скоростями.

В то же время высотные наблюдения показали, что общая система воздушных течений, охватывающих атмосферу, по-видимому, гораздо более сложна и изменчива, чем это представлялось ранее, и что она не соответствует упрощенным гипотетическим схемам, которые господствовали до того в науке. Стало ясно, что нельзя быстро получать надежную информацию о глобальной системе воздушных течений от одних самолетных, шаропилотных и других зондирований, так как они производятся только в отдельных точках на сравнительно редкой сети наземных станций, на большей же части земного шара, покрытой океанами, вообще не могут быть организованы.

По всем этим причинам разработанная и одобренная Всемирной метеорологической организацией (ВМО) программа одновременного запуска в долговременный свободный полет огромного количества шаров-зондов, снабженных современной измерительной аппаратурой, представляет для науки об атмосфере исключительный интерес. Траектории полета

шаров, выпущенных в различных местах земного шара, действительно нарисуют глобальную систему воздушных течений, и притом в ее динамическом развитии за длительное время, от дня ко дню, что и представляет наибольший интерес.

Не меньшее значение будут иметь данные о давлении, температуре и влажности воздуха на пути полета шаров, так как они позволят проследить за распространением тепла и влаги в системе воздушных течений.

Такой научный эксперимент можно уподобить киносъемке развития атмосферных процессов в масштабе всего земного шара, производящейся через гигантский объектив. Понятно, как это важно для проверки существующих теоретических моделей атмосферной циркуляции и методов глобальных долгосрочных прогнозов погоды. Ряд таких моделей разработан советскими учеными. Во всем мире известны модели Е. Н. Блиновой (Гидрометцентр СССР). Большой интерес представляет модель, созданная в Институте океанологии АН СССР Д. Л. Лайхтманом и С. С. Зилитинкевичем; в ней наиболее полно учтены все процессы физического взаимодействия между атмосферой и океанами.

Ученые Советского Союза не только проявляют интерес к подобным глобальным экспериментам, но и сами ведут интенсивную работу в этом направлении.

Профессор  
В. С. Самойленко  
Москва

## «МЕТЕОРОЛОГИЯ И ГИДРОЛОГИЯ», 1967, № 12, стр. 12—20

### Тропический эксперимент

Всемирная метеорологическая организация (ВМО) в конце 1966 г. приступила к разработке проекта «Тропический эксперимент» (ТЭ), который намечено осуществить в течение 1972 г. Одна из задач этого проекта — изучение атмосферных процессов в низких широтах, где ранее проводилось недостаточное количество наблюдений и для которых те-

оретические основы: — численные методы анализа и прогноза — разработаны хуже, чем для средних и высоких широт. Без устранения этого разрыва невозможно сколько-нибудь точное построение модели общей циркуляции атмосферы, тем более — разработка надежных методов прогноза погоды.

Для проведения эксперимента рекомендован район площадью  $4000 \times 6000$  км в западной части Тихого океана, между  $15^\circ$  ю. ш. и  $25^\circ$  с. ш. и  $120^\circ$ — $180^\circ$  в. д. В этом районе расположено 19 станций аэрометеорологического зондирования, поэтому для проведения исследований требуется установить новых станций меньше, чем в любом другом районе.

Помимо проведения станциями полного комплекса стандартных метеорологических и аэрологических наблюдений будут использованы специальные средства наблюдения — спутники, трансзонды, буи, автоматические и полуавтоматические станции.

Проект «Тропический эксперимент» предусматривает решение целого ряда задач. Укажем несколько типичных.

В районе, где будет осуществляться ТЭ, сравнительно часто зарождаются тайфуны. Можно ожидать прогресса в выяснении причин зарождения, развития и перемещения тропических циклонов. Весьма вероятно даже, что будет подготовлена база для активного воздействия на тайфун с целью разрушения его или изменения его траектории.

Изучение структуры и перемещения недавно обнаруженной особенности атмосферы — перемещение внутритропической зоны конвергенции — очень важно для правильного анализа полей метеорологических элементов в низких широтах. Карты погоды анализируются там не очень уверенно. ТЭ должен дать ответ на вопрос, как следует анализировать поля давления и ветра в низких широтах. Специальные исследования пока не дают даже приближенного ответа на этот вопрос.

В средних и высоких широтах существует планетарный пограничный

слой. Это понятие теряет смысл вблизи экватора. Однако в физическом смысле пограничный слой должен существовать и здесь. Только детальные наблюдения в период ТЭ позволят выяснить структуру пограничного слоя в экваториальной зоне и взаимодействие ее с океаническим пограничным слоем.

ТЭ даст также возможность вывести правильные физические и математические формулировки задач об общей циркуляции и прогнозе полей основных метеорологических элементов.

---

«WISSENSCHAFT UND FORTSCHRITT», 1968, № 1, стр. 4—5 (ГДР)

---

## Мировые запасы топлива

В данные о мировых запасах топлива вносятся непрерывные поправки. Возникает впечатление, что эти запасы неограниченны. Установление верхнего предела величины запасов ископаемых топлив в земной коре представляет не только теоретический, но и практический интерес.

В основе подсчетов лежит достаточно общее представление о том, что кислород атмосферы образовался в результате жизнедеятельности растений и что при реакции разложения углекислого газа атомы углерода оказываются связанными в растительных тканях. В дальнейшем часть свободного кислорода расходуется на окисление органических соединений, но каждому килограмму атмосферного кислорода должно соответствовать определенное количество связанного, «ископаемого» углерода.

Так как нас интересует вопрос о запасах топлива, т. е. достаточно сложных соединений углерода, нужно установить эквиваленты свободного кислорода углю, нефти и газу. Сделать это нетрудно — нужно только узнать, сколько кислорода расходуется на полное окисление того или иного вида топлива. Эти эквиваленты различны: 1 кг кислорода сжигает 0,79 кг бурого угля, 0,43 кг каменного угля, 0,32 кг нефти и 0,26 кг природного газа. Для наших примерных

расчетов может быть принято усредненное соотношение: 1 кг кислорода атмосферы соответствует 400 г ископаемых горючих веществ.

В атмосфере содержится  $1,107 \cdot 10^{15}$  т кислорода. Отсюда следует, что запасы топлива в земной коре равны примерно  $400 \cdot 10^{12}$  т (в расчетах не учитывается углерод, входящий в состав живущих сейчас растений, однако «поправка на растения» не внесла бы существенных коррективов в расчетные данные).

Итак,  $400 \cdot 10^{12}$  т — это верхний предел величины запасов горючих ископаемых в земной коре. Конечно, не все это топливо доступно нам — часть богатейших залежей скрыта на очень больших глубинах, в том числе под дном океанов, часть слишком распылена и т. д. Но, с другой стороны, разведанные запасы составляют лишь около 3% от общих запасов. Таким образом, не приходится удивляться тому, что поиски залежей нефти, угля и газа приводят ко все новым открытиям и следует считать эти поиски весьма перспективными еще на долгое время.

---

«ANNALES PHARMACEUTIQUES FRANÇAISES», т. 25, 1967, № 9—10, стр. 621—626 (Франция)

---

## Лечебные свойства томата

Прекрасные вкусовые и питательные свойства помидоров хорошо известны. Однако далеко не все знают, что томаты обладают и целебным действием. Еще в 1946 г. французские исследователи А. Сартрей и Ж. Мейер установили интересный факт. Оказалось, что экстракты из листьев и сок из плодов томата имеют выраженную противогрибковую и бактериостатическую активность, т. е. способны тормозить рост и развитие различных патогенных микроорганизмов и грибов. Многолетние исследования позволили установить присутствие в томатах вещества глюкоалкалоидной природы, получившего название томатин и имеющего химическую формулу  $C_{50}H_{81}O_{21}N$ . Установлено, что то-

матин состоит из остатков двух молекул глюкозы, одной молекулы галактозы и одной молекулы ксилозы и содержит аглюкон томатыдин.

Недавно группой французских исследователей был разработан простой и быстрый способ выделения томатина, основанный на экстракции этого алкалоида разбавленными растворами уксусной кислоты и метиловым спиртом. Томатин представляет собой кристаллическое вещество с температурой плавления  $278—283^\circ$ . Он хорошо растворяется в метиловом, этиловом и пропиловом спиртах, пиридине и диоксане, но нерастворим в воде, хлороформе, эфире, ацетоне и других органических растворителях.

Томатин дает все цветные реакции с основными реактивами на алкалоиды и глюкозиды и легко идентифицируется с помощью различных методов физико-химического анализа, в частности при тонкослойной хроматографии на стеклянных пластинках с нанесенным на них слоем силикагеля (толщина слоя 0,25—0,5 мм). В опытах *in vitro* томатин обладал высокой антибиотической и противогрибковой активностью. Возможно, что в ближайшее время томатин пополнит список лекарственных препаратов, применяемых для борьбы с различными инфекционными заболеваниями.

---

«АНТИБИОТИКИ», т. 13, 1968, № 1, стр. 50—57

---

## Усиление терапевтического действия антибиотиков

К числу инфекций, лечение которых антибиотиками сталкивается со значительными трудностями, относятся заболевания, вызываемые стафилококками, — это тяжелые пневмонии, гнойные осложнения, сепсис и др. Дело в том, что стафилококки быстро приспосабливаются к антибиотикам и приобретают устойчивость к действию этих веществ. В связи с этим для лечения стафилококковых заболеваний уже давно стали использовать комбинацию антибиотиков или сочетание антибиотиков с други-

ми химиотерапевтическими веществами. Разумное комбинирование антибиотиков усиливает их терапевтическую активность, расширяет сферу их применения, приводит к снижению доз используемых препаратов и к уменьшению их токсичности. В медицинской практике широкое применение нашли предложенные советским микробиологом проф. З. В. Ермолевой комбинированные формы пенициллина со стрептомицином (стрептомициллин), а также разработанные французскими исследователями Р. Мартином, Б. Шуро и В. Шаббертом сочетания некоторых антибиотиков с сульфаниламидными препаратами. В 1967 г. на кафедре микробиологии Центрального института усовершенствования врачей Е. А. Ведьминой, Т. А. Васиной и Л. А. Гамалея было изучено действие сочетаний некоторых антибиотиков и антибиотиков с комплексом витаминов в отношении 26 штаммов патогенных стафилококков в опытах *in vitro*.

В результате проведенных исследований было показано, что эффективность действия *in vitro* двойных сочетаний пасомицина с дихлортетрациклином, пасомицина с феноксиметилпенициллином и особенно дихлортетрацилина с феноксиметилпенициллином увеличивается в 16—19 раз. Применение же тройного сочетания пасомицина с дихлортетрациклином и феноксиметилпенициллином увеличивает активность препарата в 70 раз по сравнению с отдельно взятыми антибиотиками. Добавление витаминов В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub>, С и комплекса этих витаминов (поливитамина) в большинстве проведенных опытов не вызывало изменения активности антибиотиков в отношении изученных микроорганизмов.

«NATURWISSENSCHAFTLICHE RUNDSCHAU», т. 20, 1967, № 9, стр. 390 (ФРГ)

## Потери веса при космических полетах

Во время космических полетов космонавты теряют вес. Об этом говорят данные, полученные в СССР и США (см. табл.). Потери составляют 2—6% от первоначального веса и за-

## Потеря веса космонавтами

| Космонавт | Космический корабль | Длительность полета в днях | Потеря веса |     |
|-----------|---------------------|----------------------------|-------------|-----|
|           |                     |                            | в кг        | в % |
| Гагарин   | «Восток-1»          | 0,1                        | 0,5         | 0,7 |
| Титов     | «Восток-2»          | 1                          | 1,8         | 2,9 |
| Николаев  | «Восток-3»          | 4                          | 1,8         | 2,6 |
| Попович   | «Восток-4»          | 3                          | 2,1         | 2,8 |
| Быковский | «Восток-5»          | 5                          | 2,4         | 3,6 |
| Терешкова | «Восток-6»          | 3                          | 1,9         | 3,3 |
| Комаров   | «Восход-1»          | 1                          | 1,9         | 2,7 |
| Феофистов |                     |                            | 2,9         | 4,0 |
| Егоров    |                     |                            | 3,0         | 3,9 |
| Беляев    | «Восход-2»          | 1                          | 1,0         | 2,0 |
| Леонов    |                     |                            | 2,4         | 3,1 |
| Гленн     | «Меркурий-Атлас-6»  | 0,2                        | 2,7         | 3,9 |
| Карпендер | «Меркурий-Атлас-7»  | 0,2                        | 1,6         | 2,1 |
| Ширра     | «Меркурий-Атлас-8»  | 0,4                        | 1,2         | 1,7 |
| Купер     | «Меркурий-Атлас-9»  | 1,4                        | 3,5         | 5,2 |
| Гриссом   | «Джемини-Титан-3»   | 0,3                        | 2,0         | 2,8 |
| Янг       |                     |                            | 0,9         | 2,0 |
| Мак Дивит | «Джемини-Титан-4»   | 4,0                        | 2,0         | 2,9 |
| Уайт      |                     |                            | 3,9         | 4,9 |
| Купер     | «Джемини-Титан-5»   | 8,0                        | 3,3         | 4,9 |
| Конрад    |                     |                            | 3,9         | 5,5 |
| Ширра     | «Джемини-Титан-6»   | 1,1                        | 1,1         | 1,3 |
| Стаффорд  |                     |                            | 3,8         | 4,9 |
| Борман    | «Джемини-Титан-7»   | 13,8                       | 4,5         | 6,2 |
| Ловелл    |                     |                            | 2,9         | 3,7 |

висят от длительности полета. Большая часть утраченного веса восстанавливается, как правило, в течение суток после завершения полета. Таким образом, потеря веса — приспособительная реакция организма к необычным условиям.

Уменьшение веса связано главным образом с потерей воды, однако происходит не просто дегидратизация. Взаимодействие многих факторов в процессе космического полета обуславливает повышенное потоотделение. Так, например, перспирация (выделение кожей организма водяных паров и газов) вызывается у космонавтов ношением непроницаемого скафандра. Потоотделение может быть значительным даже при охлаждении, т. е. оно не связано с нагревом тела. Процесс дегидратизации в космических условиях протекает необычно, ибо в распоряжении космонавтов воды было достаточно.

У испытуемых во время длительного покоя в лежачем состоянии или при погружении их в жидкость (т. е.

при состояниях, которые частично воспроизводят физиологические воздействия, связанные с состоянием невесомости) очень часто отмечается повышенное образование мочи и, как правило, в течение первых двух суток происходит потеря веса. Объяснение этого явления, возникающего во время действительного и моделированного состояния невесомости, можно было бы найти в регуляции центрального объема крови объемными рецепторами, которые, как предполагают, находятся в крупных венах грудной клетки и предсердий. Если первоначальная потеря веса, связанная с циркуляцией в организме плазмы, не компенсируется выпитой человеком водой, то восстановление содержания воды можно ожидать в других жидкостных составляющих тела, по крайней мере через несколько дней. Так, во время 14-дневного полета космического корабля «Джемини-7» космонавты испытывали значительные потери веса, но без изменения объема циркулирующей крови и при незначительном увеличении объема плазмы. Этот факт можно

объяснить потерей воды из внеклеточных и, возможно, внутриклеточных жидких сред организма.

В медицинской практике клиническую потерю воды от 2 до 5% от веса тела обычно устраняют, пополняя организм жидкостью. Однако во время космических полетов такое пополнение не рекомендуется, поскольку потеря веса является, видимо, естественной приспособительной реакцией, при которой характерен отток крови от конечностей. По возвращении космонавтов на Землю кровь опять накапливается в конечностях и у космонавтов возникают симптомы ортостатической неустойчивости<sup>1</sup>. Еще не известно, оказывает ли уменьшенное содержание воды отрицательное влияние на организм.

<sup>1</sup> Ортостатическая неустойчивость — падение артериального давления при переходе тела из горизонтального в вертикальное положение; влечет за собой ряд последствий вплоть до кратковременной потери сознания в результате недостаточного кровоснабжения мозга.

«NATURWISSENSCHAFTLICHE RUNDSCHAU», 1967, № 11, стр. 485 (ФРГ)

## Пробная пересадка почки

Установлено, что каждая десятая пересаженная от трупа почка не приживается. Поэтому сотрудник Чикагского университета Лавендер, прежде чем производить пересадку почки, подключает ее к кровеносным сосудам руки пациента. В течение нескольких дней таким образом проверяется работа почки и лишь после этого принимается решение о ее окончательной трансплантации. Выступая на годичном заседании Чикагского медицинского общества, Лавендер сообщил, что во время проверки почка находится в перфузионной камере, которая обработана веществами, предупреждающими свертывание крови. Уже через 20 сек. после подключения к системе кровообращения пациента почка начинает выделять мочу. Через 2—3 недели, как полагает Лавендер, проверенную в работе почку можно окончательно пересадить больному.

«БЮЛЛЕТЕНЬ МЕЖДУНАРОДНОГО АГЕНТСТВА ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ», кн. 9, 1967, № 5, стр. 30.

## Мухи против мух

Более 300 млн мух было выведено в лабораториях и выпущено в Центральной Америке с целью уменьшения популяции плодовой средиземноморской мухи, причиняющей значительный вред различным плодовым культурам (Коста-Рика, Сальвадор, Гватемала, Гондурас, Мексика, Никарагуа и Панама терпят от нее ежегодные убытки, исчисляемые в 80 млн долларов).

Разведение мух было осуществлено в Коста-Рике, причем на стадии куколки их подвергли облучению радиоактивными изотопами, и они потеряли способность к размножению, не претерпевая других изменений. Спаривание их с местными мухами не может дать потомства, что и приводит к значительному сокращению популяции<sup>1</sup>. В то же время облученные мухи не причиняют вреда плодовым растениям, поскольку не могут откладывать яиц. Такой биологической обработке подверглась территория в несколько тысяч акров. Полная эффективность метода может быть оценена только в течение следующего сезона созревания цитрусовых, но с момента ввода программы в действие появились признаки, говорящие об уменьшении ущерба плодовым культурам.

<sup>1</sup> Этот своеобразный метод борьбы с вредными насекомыми, сводящийся к выпуску в природу большого числа стерильных особей, был впервые обоснован и разработан известным советским генетиком А. С. Серебровским. См. его работу: «О новом возможном методе борьбы с вредными насекомыми», «Зоологический журнал», т. 19, 1940, вып. 4, стр. 616—630 (Прим. ред.).

«PROZEGŁAD ZOOLOGICZNY», т. 3, 1967, № 3, стр. 275—278 (Польша)

## Конкуренция среди насекомых-паразитов

В классе насекомых паразитизм распространен очень широко, особенно

среди перепончатокрылых. Встречается одиночное и групповое как внутреннее, так и внешнее паразитирование. Паразитизм перепончатокрылых на других насекомых приводит к гибели хозяина, в отличие от типичного паразитизма, который не сопровождается его умерщвлением. Хозяин для паразитического насекомого представляет собою запас питания, определяющий число паразитирующих личинок. Поэтому, если запас питания не соответствует числу развивающихся личинок, то это приводит к конкуренции, в результате которой избыток паразитических особей гибнет.

М. К. Костельская (Зоологический институт Вроцлавского университета) в своей работе «Конкуренция среди паразитических насекомых» отмечает, что до сих пор не было выяснено, откладывают ли паразитические насекомые свои яйца в уже зараженных хозяев. Опыты с рогахвостами (сем. Siricidae) и их паразите *Collyria calcitrator* Grav. подтвердили, что вторичное заражение невозможно, и самки прекрасно отличают уже зараженные особи от незараженных.

Далее, некоторые паразитирующие перепончатокрылые откладывают только одно яйцо (имея гораздо большее количество созревших яиц), если хозяин не способен прокормить более одной личинки. Вторичное заражение происходит лишь в том случае, когда численность подходящих хозяев явно недостаточна. Например, если самке паразита, наряду со здоровыми хозяевами, предоставить больных, то последние остаются не зараженными, а происходит вторичное заражение здоровых хозяев.

Конкуренцию среди паразитических насекомых можно рассматривать с трех точек зрения: конкурентами могут быть представители одного и того же вида или разных видов; конкурентами могут быть как внутренние, так и внешние паразиты (в случае межвидовой конкуренции один из конкурентов может быть внутренним, а другой внешним); явление конкуренции наблюдается главным образом среди одиночных паразитов. Было установлено два способа

удаления избыточного количества паразитов из организма хозяина: в результате их физического уничтожения или физиологического воздействия. Такое взаимное уничтожение конкурирующих особей, вероятно, характерно вообще для паразитических личинок. Это хорошо иллюстрируется существованием у многих личинок перепончатокрылых на ранних стадиях развития жвал (одна из частей ротового аппарата), приспособленных для нападения, а не для непосредственного добывания пищи. При физиологическом уничтожении в тело хозяина выделяются токсические вещества (например, цитолитические энзимы), от действия которых погибают избыточные особи паразитов. Этот способ широко распространен у многочисленных представителей перепончатокрылых. Впрочем, не вполне ясно, почему эти токсины не действуют на выделившую их особь.

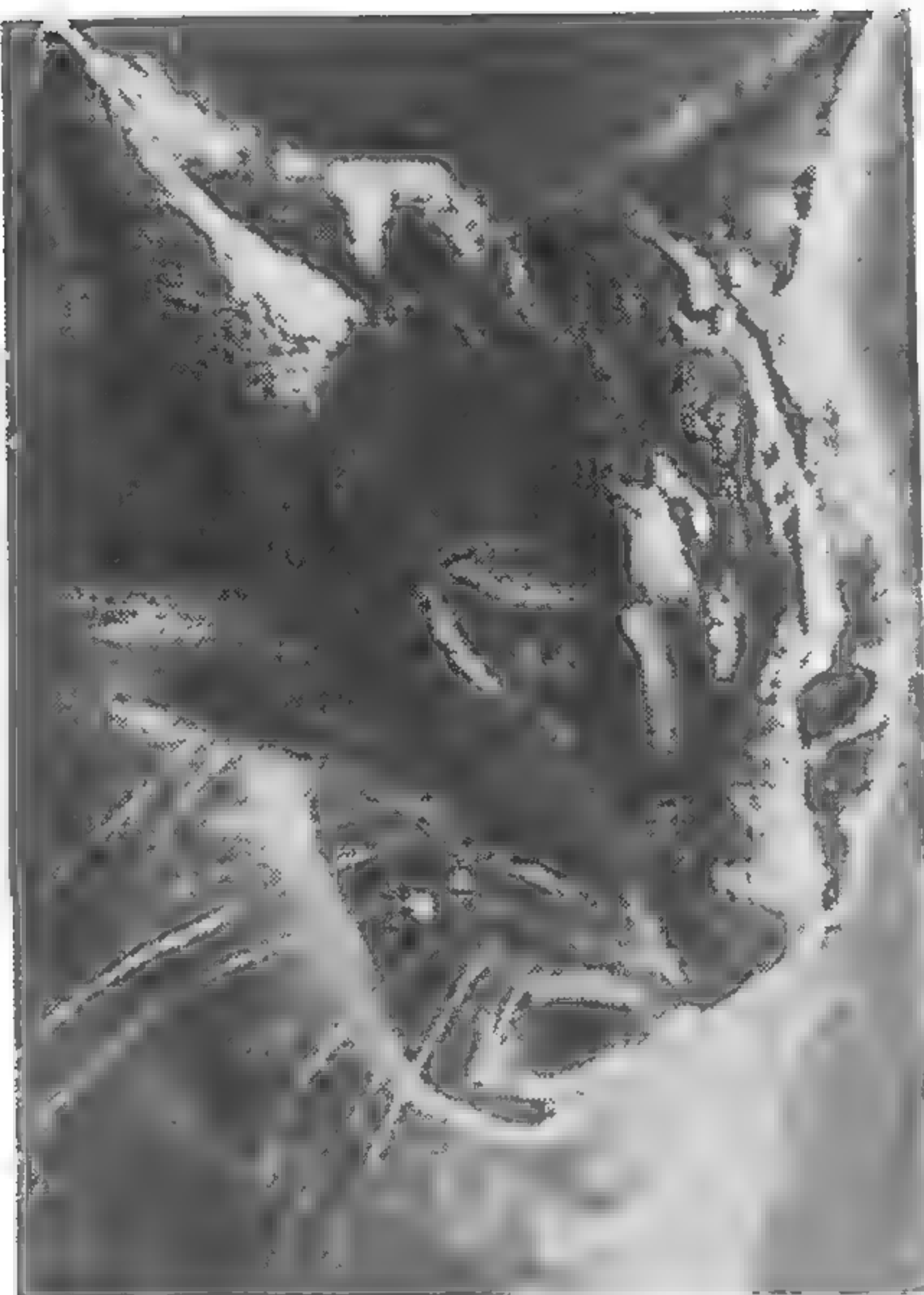
Однако отмечены и случаи отсутствия подобной конкуренции при множественном (избыточном) паразитизме или при полиэмбрионии<sup>1</sup>, когда, наоборот, имеет место так называемая взаимопомощь. Подобные явления наблюдаются как среди внутренних, так и среди внешних паразитов перепончатокрылых насекомых.

<sup>1</sup> Образование множества паразитов в результате деления одного яйца в теле хозяина.

«ANIMALS», т. 10, 1968, № 11, стр. 501—503 (Англия)

## Пингимайя с острова Ириомоте

Японский ученый Юкира Тагава в джунглях одного из островов архипелага Рюкю обнаружил дикуую кошку, относящуюся к совершенно новому роду. Гористый заброшенный островок Ириомоте расположен в юго-западном районе этого архипелага и населен охотниками и рыбаками. С научными целями его посещали редко, Ю. Тагава решил проверить давние слухи о существовании странной ириомотской кошки.



Дикая ириомотская кошка

Прибыв на место, Тагава установил, что островитяне по старинному обычаю сразу же съедают пойманных диких кошек. Все его усилия добыть живого хищника на первых порах не привели к успеху. Наконец, ему удалось приобрести шкуру и череп животного, подробное исследование которых провели зоологи Окинавы и Токио. Вывод был единодушен — обнаружено неизвестное науке млекопитающее. Ему дали название *Mauiailurus iriomotensis*.

Дальнейшие исследования выявили ряд интересных особенностей новооткрытой кошки, называемой местными жителями «пингимайя». Ириомотская кошка резко отличается по многим признакам от одичавших домашних кошек, на протяжении многих поколений живущих в джунглях, и от дикой бенгальской кошки *Felis bengalensis*, широко распространенной по всей Юго-Восточной Азии. Например, домашняя и бенгальская кошки имеют по 30 зубов, а у пингимайи их 28. Интересно, что это животное больше всего похоже на чилийского горного кота *Noctifelis guigpa*, который характеризуется такой же формой черепа и тоже имеет 28 зубов.

«ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ», 1968, т. 15, вып. I, стр. 84—92

## Анабиоз при обезвоживании

Растения, не регулирующие свой водный режим и способные высыхать до воздушно-сухого состояния, называют пойкилоксерофитами. Таковы многие сине-зеленые и зеленые водоросли, лишайники, мхи, папоротники, немногие виды из покрытосемянных. Есть данные, что печеночный мох *Grimaldia dichotoma* выдерживал обезвоживание в течение 7 лет. У некоторых мхов споры способны переносить воздушно-сухое состояние до 50 лет.

Для пойкилоксерофитных растений процесс обезвоживания — естественная реакция, которая выработалась в процессе филогенеза. Работы П. А. Генкеля и Н. Д. Прониной показали, что при потере воды протоплазма переходит в состояние геля, также происходит гелефикация содержимого вакуолей, если они есть в клетках. Интенсивность обмена веществ равномерно снижается. Однако до самого конца в процессе дыхания образуются соединения, богатые энергией, и сохраняется весь механизм передачи энергии субмикроскопическим структурам. Обезвоживание приводит пойкилоксерофитные растения в состояние анабиоза, при котором останавливается обмен веществ, но вся организация клетки сохраняется. С наступлением благоприятных условий организм возобновляет свою жизнедеятельность.

«ПОЛЬСКОЕ ОБОЗРЕНИЕ», 1968, № 6, стр. 15—16

## Новый заповедник

На территории, являющейся исторической колыбелью польского государства, на берегу озера Гопло (Быдгощское воеводство) в конце прошлого года создан новый заповедник — Надгопланский парк тысячелетия. В него входят озеро и окружающие его леса, болота и луга, общая площадь — 12,7 тыс. га. Создание парка было продиктовано прекрасными природными условиями района.

## О бесконечности Познания

А. С. Компанеец

МОЖЕТ ЛИ ОКОНЧИТЬСЯ ФИЗИЧЕСКАЯ НАУКА?

Изд-во «Знание», 1967, 48 стр., ц. 9 коп.

## Книги

Известный советский физик-теоретик проф. А. С. Компанеец написал брошюру под названием «Может ли окончиться физическая наука?», которая вызвала большие споры. Брошюра в целом очень интересна и содержательна. Читатель почерпнет из нее много ценных сведений о положении на «переднем крае» физической науки. С большим знанием предмета А. С. Компанеец излагает характеристики четырех видов взаимодействий: гравитационного, электромагнитного, слабого и сильного; приводит сравнительные данные о их силе, знакомит с характерными масштабами. Я бы сказал, это лучшее, может быть, изложение в популярной литературе самых сложных вопросов современной физики.

Возвратимся к названию брошюры. В понятие «окончиться» А. С. Компанеец вкладывает совершенно определенный смысл: может ли физическая наука достичь такого состояния, при котором она перестанет приносить результаты, в корне ломающие наши представления о материи, изменяющие естественно-научное мировоззрение человека? С точки зрения автора брошюры, такие науки, как химия, физика твердого тела (добавим еще от себя классическую и квантовую механику, тер-

модинамику, статистическую физику, оптику и множество иных наук), — есть науки «оконченные». Химия и физика твердого тела, например, имеют дело со взаимодействием электронных оболочек атомов, а это достаточно хорошо изученные объекты, во всяком случае, настолько изученные, что от них уже не ожидают сведений, которые бы изменили наше мировоззрение. Поэтому они, согласно А. С. Компанейцу, и «окончены». В действительности, если вспомнить, что наука призвана изменять мир, то как раз эти науки, может быть, только и «начались» — «начались» тогда, когда были выяснены основные мировоззренческие вопросы, построен аппарат и они стали надежным инструментом человека в его извечной переделке природы. В то же время физика элементарных частиц и космология — главные источники переворотов в наших представлениях о мире — пока не стали инструментом в руках человека, практической пользы от них еще мало.

Вопрос, поднятый А. С. Компанейцем, на наш взгляд, следовало бы сформулировать иначе. В развитии каждой науки бывают революционные периоды, когда выдвигаются новые идеи, складываются новые представления — происходят идейные перевороты, и периоды эволюции, следующие за переворотами. Так было в химии, термодинамике и др. Революция в физике началась в конце прошлого века, и хотя она еще не окончилась, в результате нее возникли специальная теория относительности, общая теория относительности, квантовая механика — т. е. науки, ставшие теперь инструментом преобразования природы и вступившие в фазу эволюционного развития. Можно не сомневаться, что эти науки, постоянно совершенствуясь, будут служить человеку бесконечно — во всяком случае, пока существует цивилизация. Этого А. С. Компанеец не отрицает.

Может ли окончиться революция в физике? Так, по-существу, поставил вопрос А. С. Компанеец, воспользовавшись некорректной терминологией: «Может ли окончиться физическая наука?». При этом под физиче-

ской наукой понимается наука о неживой природе, исключая космологию. Ответ на этот вопрос, как совершенно правильно пишет автор брошюры, зависит от того, конечно или бесконечно число видов взаимодействий в неживой природе. При чем имеются в виду фундаментальные взаимодействия ранга гравитации, электромагнитного и т. п.

В такой постановке вопрос вполне законен. В самом деле, если количество видов взаимодействий конечно, то почему бы революции — ломке представлений о материи, основных понятий — длиться бесконечное время? Утверждать так, значит считать природу непознаваемой. Но если число видов взаимодействий бесконечно, то они будут постоянно представлять перед человеком. По мере открытия принципиально новых видов взаимодействий будут возникать все новые и новые науки. При этом, как думает рецензент, перед человечеством возникнет новая трудность: количество наук будет расти до бесконечности, человеческие же способности, благодаря конечному числу клеток мозга, не беспредельны. Число людей в пределах Земли и солнечной системы тоже конечно. Возникает противоречие между конечным объемом человеческих способностей и бесконечным числом наук. Но возвратимся к сути дела! Сейчас не существует ответа на вопрос, конечно или бесконечно число видов фундаментальных взаимодействий. А. С. Компанеец считает, что число их конечно. На этом и основано его предположение, что со временем «физическая наука окончится». Лучше было бы сказать, как уже упоминалось, «кончится революция в физике и физическая наука во всех ее разделах станет надежным, непротиворечивым в основах, инструментом преобразования природы».

А. С. Компанеец, предполагая, что число взаимодействий конечно, опирается на интуицию. Источником ее служит незначительное число фундаментальных взаимодействий (всего четыре, известных сейчас). Но интуиция в таких делах — плохой советчик. Вероятно, ответ на вопрос о числе взаимодействий можно получить, имея какой-либо физически

бесспорный масштаб, критерий. Таким критерием, по мнению рецензента, может быть конечность или бесконечность (например, по массе) Вселенной. Не входит ли постановка такого вопроса в противоречие с основами диалектического материализма? Вовсе нет! Вопрос о конечности или бесконечности Вселенной — есть вопрос естественно-научный; он будет решен на основе физических теорий с учетом опыта. А такие вопросы никогда не входили и не войдут в противоречие с основами диалектического материализма, поднимающегося по мере появления естественно-научных открытий на все более высокий уровень.

Итак, если окажется, что Вселенная имеет конечную массу, то можно быть уверенным, что число взаимодействий в ней конечно. В этом случае, если длительность существования цивилизации позволит, физика в конце концов станет такой же «законченной» наукой, как химия, квантовая механика и т. д. Революции в науке, возможно, переместятся в область живой природы (где, кстати говоря, революция уже идет), или в область математики, или в какие-либо еще неизвестные области познания. Между прочим, в науках о живой природе, математике революционные преобразования, вероятно, будут длиться бесконечно. Если масса Вселенной окажется бесконечной, то и революция в физике будет продолжаться бесконечно. Но рецензент уже начал отходить от брошюры А. С. Компанейца и высказывать собственные взгляды.

Еще несколько замечаний по поводу брошюры. Автор чрезмерно оптимистично, что характерно для многих теоретиков, судит об общей теории относительности как о последней инстанции в науке о тяготении. Это великое, бесспорно, творение человеческой мысли пока количественно проверено экспериментальным путем всего в двух-трех случаях. Современная астрономия открывает нам совершенно непредвиденные явления (квазары, ядра галактик и т. п.), и не исключено, что в такой, находящейся в начальной фазе развития, науке могут возникнуть серьезные основания для усовершенствования

или даже для новых обобщений в общей теории относительности. Во всяком случае, так, вероятно, думают многие экспериментаторы: жизнь их приучила к осторожности в суждениях.

А. С. Компанеец, увлекшись полемической, острой формой изложения, заходит за пределы корректности. Он высмеивает «некоего ученого мужа», «осмелившегося», «возомнившего» и т. д. Я бы сказал, здесь автор брошюры допустил запрещенный прием: он выступил против работ, с которыми не согласен, в популярном, массовом издании, отрезав путь к дискуссии.

В целом брошюра написана хорошо, отличным литературным языком; современные острые вопросы физической теории изложены глубоко и точно. В некоторой части работа дискуссионна и этим будит мысль читателя. Ее выпуск, несмотря на отмеченные недостатки, весьма полезен.

Член-корреспондент АН СССР

К. И. Щелкин

Москва

## Вьетнам глазами географа

Э. Мурзаев

ПУТЕШЕСТВИЕ В ЖАРКОЕ ЛЕТО  
ИЗД-ВО «МЫСЛЬ», 1967, 134 стр.,  
ц. 34 к.

Известный советский географ четко определил тему своей небольшой книжки, написанной по путевым записям трехмесячного пребывания во Вьетнаме: «Природа тропического Индокитайского полуострова, использование естественных ресурсов, человек и его земледельческое хозяйство». Именно Демократическая Республика Вьетнам, шагнувшая в социализм и отстаивающая сегодня свои завоевания в героической борьбе с первой державой капиталистического мира, показывает пример всестороннего использования природы в условиях народного государства.

На тысячу километров с севера на юг вытянулся Вьетнам вдоль побережья Южно-Китайского моря. Живописнейшие горы, одетые зеленью джунглей, занимают большую часть страны. На узких приморских равни-

нах и главным образом в дельтах сосредоточено основное население страны — «кинью», или собственно вьетнамцы.

Колыбелью нации была дельта р. Красной, в пределах которой находятся крупнейшие города страны — Ханой и Хайфон, где живет около 60% всего населения ДРВ. Отвоєванная в жестокой борьбе с природой, эта повсеместно возделанная равнина является сегодня рисовой житницей страны. Решение ряда проблем, возникших, в частности, в связи с ирригационными мероприятиями и подробно рассмотренных автором, несомненно приведет к повышению урожайности и упрощению земледелия. Пахотной земли во Вьетнаме еще не хватает. В стране выращивают рис и в широких долинах, и в плоскodonных котловинах горных районов. Уступами террас карабкаются высоко на склоны гор рисовые поля, плантации кофе, чая, арахиса. Но пока еще традиции рисоводства, замечательными мастерами которого являются вьетнамцы, довлеют над населением. Например, в районах карстующихся известняков, где вода быстро поглощается подземными пустотами, более целесообразно разводить масличные и иные культуры, не требующие такого количества воды, как рис.

В книге подробно рассказывается о десятках народностей, населяющих горы Вьетнама. Все они — от жителей самых высоких гор, обитателей лесных дебрей, искусных охотников («ман» и «мяо») до мастеров земледелия и отличных рыболовов («кинью») — строят сегодня народный Вьетнам. Строят его вместе со своими семьями и бывшие солдаты французской колониальной армии — марокканцы, алжирцы, французы, которые пожелали остаться в молодой республике и работают сейчас в госхозе Бови, западнее Ханоя. С большим интересом читается рассказ об обычаях и истории малых народностей, об их жизни сегодня, о методах возделывания арахиса, кофе, черного перца, чая, маниока, о разведении и эксплуатации знаменитой гевеи и королев пальм — кокосовой, о закреплении подвижных песков, о городах и селах Вьетнама.

Очень многое успел увидеть и сумел ярко и живо рассказать профессор Э. М. Мурзаев об этой замечательной стране. И литератор нигде не уступает ученому. Четко и ясно написано о самых сложных проблемах — происхождении рельефа и ландшафтов, преобразовании природы и колебаниях уровня моря, животном мире и этнографии, мелиорации и выборе сельскохозяйственных культур в зависимости от природных условий, даже о происхождении географических названий. Автор показывает, как слова раскрывают тайны языка, природы, истории... И все это — на широком географическом фоне, часто в сравнении с известными в нашей стране ландшафтами и явлениями. Подкупает и простота изложения при необычайной широте и разнообразии манеры повествования — от рассказа, в котором юмор сменяется экскурсами в историю, литературу, искусство и красочной древней легендой, до спокойного размышления, как бы приглашающего читателя вместе подумать над многими вопросами. Правда, иногда отступления кажутся несколько затянутыми (описание новогодней поры в Москве) или не вполне бесспорными. Следует также отметить, что устарели некоторые цифровые данные, соответствовавшие времени путешествия автора — зиме 1963—1964 гг. (численность населения Ханоя уже в конце 1964 г. превысила миллион). Однако эти небольшие замечания ни в коей мере не умаляют значения этой хорошо изданной книги, иллюстрированной отличными фотографиями автора.

Ю. М. Клейнер  
Кандидат географических наук

Москва

## Календарь природы

# Где выпадает наибольшее количество осадков?

Сведения об экстремальных осадках земного шара чрезвычайно важны для правильного учета предельно возможного стока рек, а также для планирования сроков лесосплава на горных реках. Поэтому исследования, ведущиеся в этой области, представляют немалый интерес.

Тропические циклоны Аравийского моря и Бенгальского залива и летние муссоны приносят на территорию Индии огромные массы теплого и неустойчивого по стратификации влажного воздуха. При подъеме по горным склонам за счет трения о земную поверхность и развития конвекции движение воздушных потоков замедляется. Это приводит к увеличению количества выпадающих осадков. Наиболее интенсивные осадки в Индии отмечаются в наветренной части предгорий, особенно при продвижении на север теплых воздушных масс Бенгальского залива.

Расположенная в горах Кхаси на высоте 1314 м над ур. м. обсерватория Черрапунджи вот уже много лет (сведения об осадках в Черрапунджи публикуются с 1851 г.) фиксирует рекордное для земного шара количество выпадающих летом осадков. Теплые и влажные муссонные потоки вблизи Черрапунджи совершают резкий подъем между горами Кхаси и Аракан, и поэтому здесь

значительно увеличивается количество выпадающих осадков. С 1851 по 1900 г. среднегодовое количество осадков здесь составляло 11 905 мм, а за 11 месяцев 1861 г. (без марта) оно достигло феноменальной цифры 22 990 мм. В первой половине нашего века годовое количество осадков в Черрапунджи в среднем находилось в пределах 9000—12 000 мм: в течение суток за этот период иногда выпадало до 1016 мм. За период 1903—1962 гг. наибольшее количество осадков приходилось на 1951 г. — 15 846 мм. В мае максимальное количество осадков было отмечено в 1948 г. (3278 мм), в июне — в 1956 г. (5689 мм), в июле — в 1951 г. (4620 мм), в августе — в 1935 г. (3450 мм). Таким образом, наибольшее количество осадков в Черрапунджи приходится на июнь — июль. Минимальное количество осадков в районе обсерватории выпадает в январе. Для более полного уяснения различий между зимой и летом в Черрапунджи приведем средние климатические характеристики этой местности для января и июля:

|        | Число дней с осадками | Количество осадков (в мм) | Облачность (в %) | Относительная влажность (в %) |
|--------|-----------------------|---------------------------|------------------|-------------------------------|
| Январь | 1,1                   | 11                        | 24               | 72                            |
| Июль   | 26,9                  | 2500                      | 93               | 96                            |

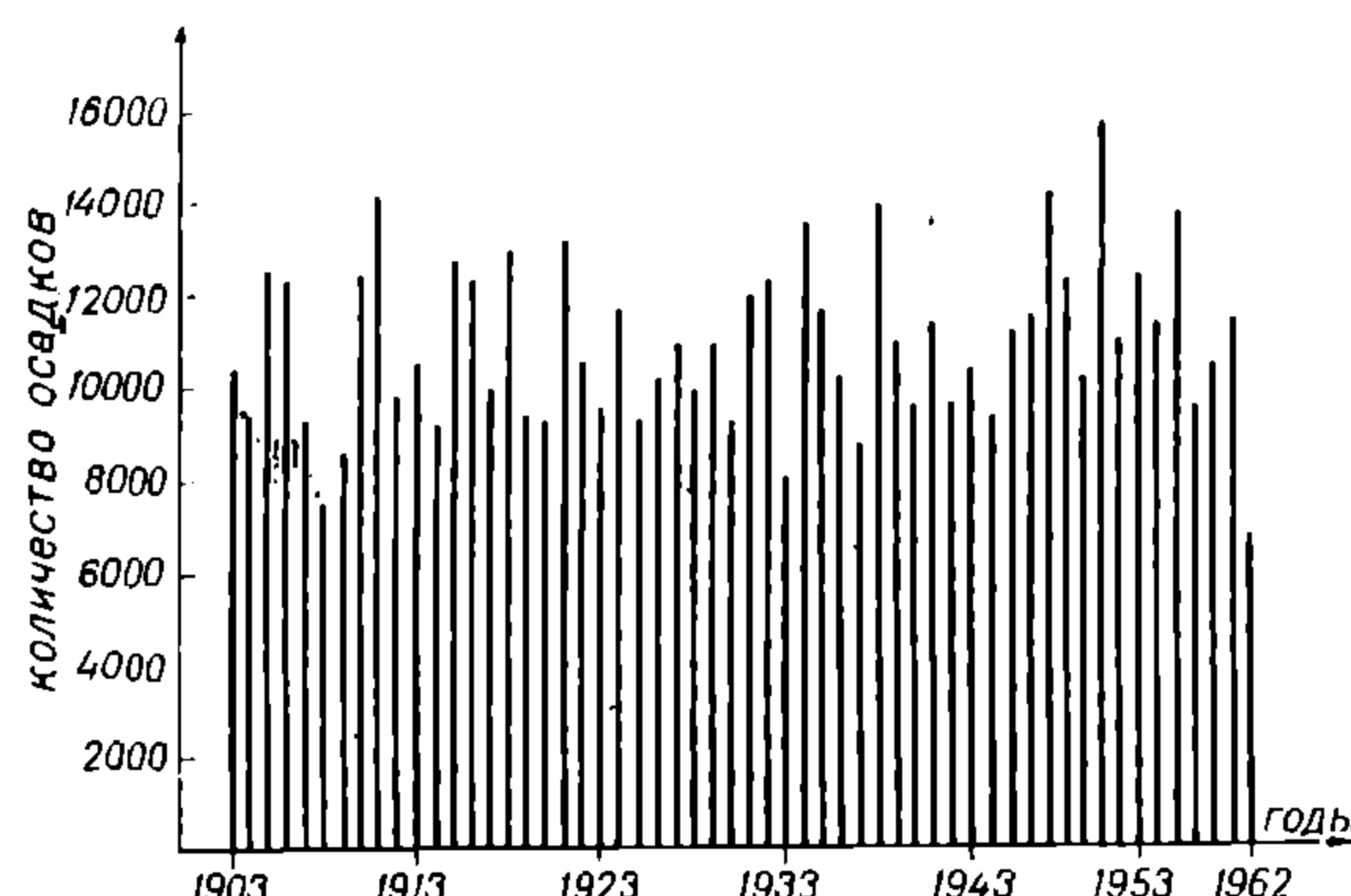
Если взглянуть на рисунок, то мы увидим, что за годы с 1903 по 1962 количество осадков в Черрапунджи

колебалось около средней довольно высокой нормы. Экстремально высокое количество удерживается здесь год, в некоторых случаях два года подряд, после чего следует резкий спад. По достижении минимума обычно следует быстрый переход к максимуму. Любопытно отметить, что в годы максимумов солнечной деятельности (1913; 1923; 1933; 1944) и в годы ее минимумов (1907; 1917; 1928; 1937; 1947; 1957) в Черрапунджи наблюдалось пониженное количество осадков.

С осадками в Черрапунджи в первую очередь может соперничать Квибдо (Колумбия): за 7 лет, с 1931 по 1937, в среднем за год здесь выпадало 9564 мм, а в 1936 г. было отмечено 19 839 мм. Высокая норма осадков характерна и для Дебундже (Камерун), где за 34 года, с 1896 по 1930, в среднем выпадало 9498 мм, а максимальное количество осадков — 14 545 мм — наблюдалось в 1919 г. В Буэнавентуре и Анготе (Колумбия) годовая норма осадков близка к 7000 мм, в ряде пунктов на Гавайских

островах она находится в пределах 6000—9000 мм.

В Европе довольно дождливым ме-



Изменение количества выпадающих в Черрапунджи осадков за годы 1903—1962. На оси абсцисс — годы, исключая 1945, 1954, 1960 и 1961, когда сведения об осадках были неполными. На оси ординат — количество выпадавших осадков (1 см шкалы соответствует 2000 мм осадков)

стом считается Берген (Норвегия). Однако в норвежском местечке Самнангер выпадает еще больше осадков: за последние 50 лет годовое количество осадков здесь нередко превышает 5000 мм.

В нашей стране наибольшее количество осадков выпадает в Грузии, в районе Чаквы (Аджария) и Сванетии. Для Сванетии были сделаны подсчеты возможных осадков по стоку рек на южных склонах Большого Кавказа. Эти данные показывают, что за год осадки здесь должны были бы достигать 5000 мм, что заметно ниже минимального количества осадков в Черрапунджи — 6707 мм, которое наблюдалось в 1962 г. Однако метеостанции Сванетии пока не подтверждают сделанных расчетов. Возможно, это объясняется недостаточно плотной сетью метеостанций в этом районе.

В Чакве среднее годовое количество осадков составляет 2420 мм (крайние значения 1800—3600 мм). В 1959 г. в Аджарии на высоте 1200 м над ур. м., на склонах Аджаро-Имеретинского хребта, была открыта метеостанция Цискара. Эту станцию называют также «Мта-Мтирала» (в переводе «Плачущая гора»), поскольку здесь очень часты осадки и туманы, причем в холодное время года даже чаще, чем в теплое (годовой ход осадков здесь иной, чем в Черрапунджи). В 1961 г. на станции Цискара выпало 3836 мм осадков, в 1962 г. — 3750 и в 1966 г. — 3407 мм. По остальным годам пока полных данных нет. Обилие осадков в районе Чаквы объясняется выносом на сушу на этом участке Черноморского побережья Кавказа теплых и неустойчивых атлантических воздушных масс, дополнительно обогащенных влагой над Средиземным и Черным морями. При встрече с отрогами Аджаро-Имеретинского хребта циклоны нередко задерживаются и углубляются. Ориентация отрогов хребта относительно воздушных течений способствует развитию в воздушных массах конвекции, что и приводит к увеличению количества выпадающих осадков.

Тропические и полярные циклоны имеют неодинаковое содержание

влаги. Именно этим в первую очередь объясняется различие в количестве осадков в Черрапунджи (тропические циклоны) и в Грузии (полярные атлантические циклоны). Кроме того, в Черрапунджи мощное влияние оказывает и муссонная циркуляция. Все это обеспечивает значительный перевес в количестве выпадающих осадков в Черрапунджи по сравнению с Аджарией и Сванетией.

Профессор В. И. Арабаджи  
Горький

## Туман на водохранилище

Туманы над водоемами — явление довольно частое. Возникают они в результате притока холодного воздуха с берега или вследствие переноса влажного воздуха и охлаждения его на побережье. Туманы обычны в раннее утреннее время, чаще всего осенью, когда вода оказывается теплее, чем подстилающая поверхность, и быстро рассеиваются. Но такой продолжительный и плотный туман, какой имел место на Куйбышевском водохранилище с 5 до 12 ноября 1967 г., — явление чрезвычайно редкое вообще, а здесь встретился впервые со времени образования водохранилища. Над водной поверхностью туман все эти дни почти не рассеивался и лишь временами на береговых станциях видимость улучшалась.

Столь интенсивный туман был вызван распространением на районы водохранилища малоградиентного поля высокого давления на западной периферии высокого антициклона. Таким образом, в течение всех восьми дней над водохранилищем преобладали нисходящие токи, что привело к образованию слоев воздуха с инверсионным и изотермическим распределением температуры. У поверхности земли и над водохранилищем температура воздуха при тумане опускалась ниже 0 градусов или же не превышала 1—2°

тепла. Относительная влажность воздуха при тумане была в пределах 96—100%. Все эти дни преобладала штилевая погода.

Наблюдения над туманами и их прогнозы чрезвычайно важны для предотвращения наносимого ими ущерба народному хозяйству, так как длительные туманы, подобные наблюдавшемуся на Куйбышевском водохранилище, прекращают работу автомобильного и воздушного транспорта.

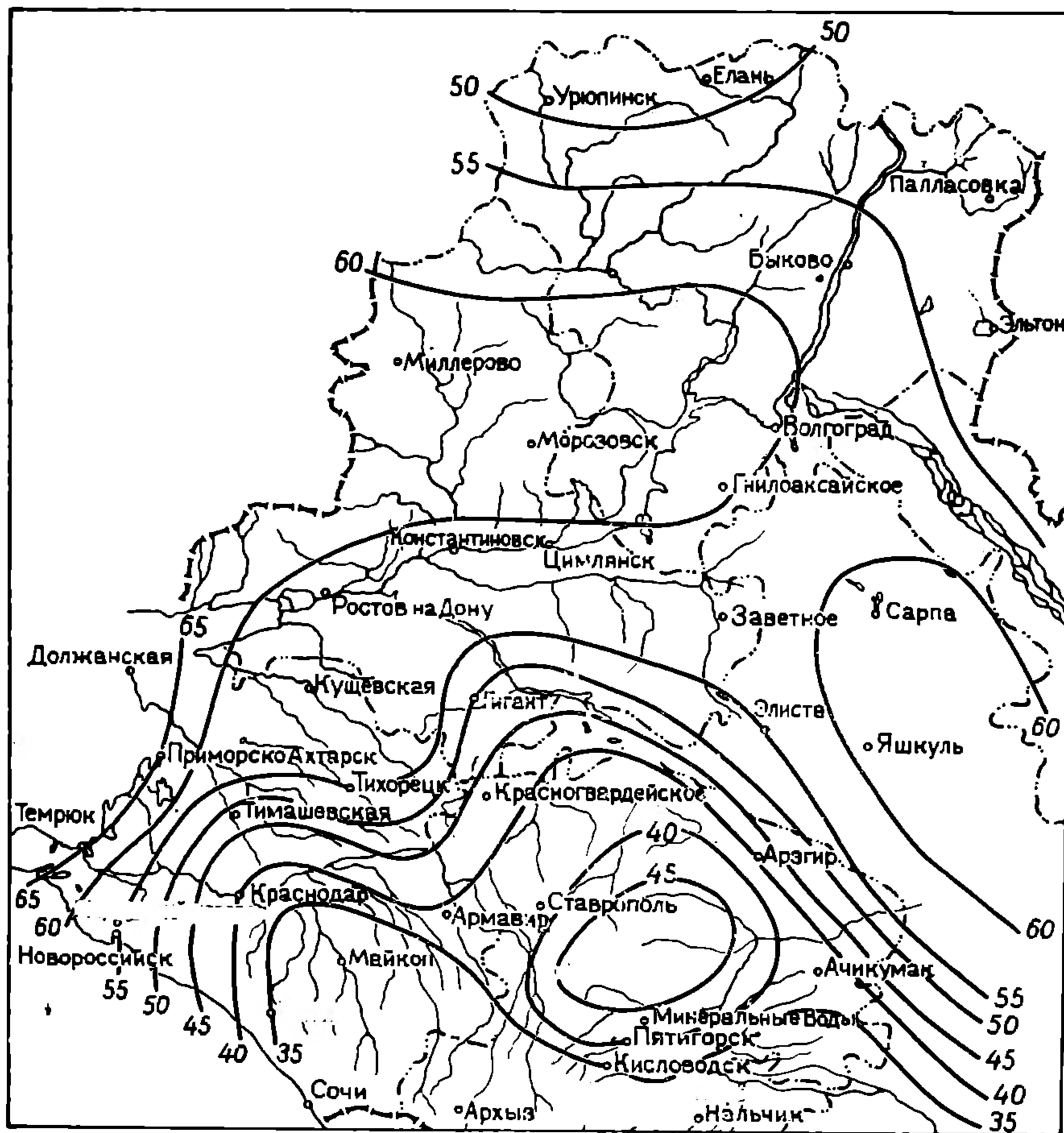
М. Б. Аитов  
Тольятти

## Энергия ветра

Вторая половина XX в. характеризуется быстрым ростом общей индустриализации народного хозяйства, основным энергетическим сырьем которого являются уголь, нефть, газ. Теперь настало время задуматься и над использованием энергии ветра. В недалеком прошлом неременной особенностью сельского пейзажа была ветряная мельница. В некоторых местах «ветряки» применялись для подъема воды из глубоких колодцев, полива и для выполнения ряда других хозяйственных работ. При этом использовалась энергия ветра в его «чистом» виде. Позже появились ветродвигатели вместе с динамомашиной. Такой агрегат значительно расширял область применения преобразованной энергии ветра. Однако и «ветряки» и ветродвигатели во многих местах вытеснены дизелями или трансформаторами, подключенными к высоковольтным линиям электропередач.

Бесспорно, в различных районах ветровой режим различен и не везде его использование может оказаться эффективным.

Постараемся на примере юго-востока Европейской территории Союза (ЕТС) показать некоторые характеристики ветрового режима, т. е. потенциальные энергетические ресурсы, ныне практически не используемые.



**Вероятность ветра в интервале скоростей от 4 до 13 м/сек в % за год. Степная часть Европейской территории Союза выделяется наибольшей вероятностью «рабочих» ветров**

По ветровому режиму юго-восток ЕТС и Северный Кавказ относятся к умеренной зоне. В течение года здесь преобладает западно-восточный перенос, причем в теплую половину года наблюдается ослабление ветра, а в холодную — его усиление. Для построения карты (см. рис.), отражающий распределение ветров, которые можно использовать для ветроэнергетических установок малой мощности, нами были использованы данные 50 метеорологических станций за последние 30 лет.

На территории Ростовской, Астраханской и большей части Волгоградской областей, в Калмыкии, на севере Краснодарского и Ставропольского краев вероятность «рабочих» ветров превышает 50% времени го-

да. На правобережье Дона, по побережью Азовского моря, в восточной Калмыкии вероятность ветров, скоростью 4—13 м/сек увеличивается до 60—70%. Левобережье Кубани, предгорные и горные районы Северного склона Кавказа, а также Черноморское побережье Кавказа к востоку от Туапсе характеризуются существенным ослаблением ветрового режима. Некоторое усиление ветра наблюдается на восточных склонах Ставропольской возвышенности.

Иными словами, почти на всей степной части исследуемой территории ветровой режим является исключительно благоприятным для хозяйственного использования уже на нынешнем уровне техники.

Несложные расчеты показывают, что применение ветряных мельниц только в сельской местности может дать поистине колоссальную экономию в электроэнергии, а в конечном счете — в сотнях и тысячах тонн нефти, угля, газа, столь необходимых для химической промышленности.

**Пример ветряных мельниц — лишь частный случай использования энергии ветра. Ветроэлектродвигатель вместе с аккумуляторной батареей значительно расширяет сферу применения энергии ветра и, что не менее важно, доступен практически для любого самого отдаленного уголка района, будь то небольшой хутор, ферма, полевой стан или кошара чабана. Именно здесь и следовало бы начать широко использовать ветер.**

**В. Ф. Проценко**  
Гидрометеорологическая обсерватория  
(Ростов-на-Дону)

# В конце номера:

## Звезды и спички, или о вреде курения

Известному немецкому химику Гансу Ландольту принадлежит шутка: «Физики работают хорошими методами с плохими веществами, химики — плохими методами с хорошими веществами, а физхимики — плохими методами и с плохими веществами». Что же можно сказать в этом плане об астрономах — пусть судит сам читатель.

В 1962 г. на обсерватории Верхний Прованс французские ученые обнаружили широкие эмиссионные линии нейтрального калия в спектре звезды HD 117042, заурядного карлика типа G6. Этот факт, установленный по одной из спектрограмм, полученных в фокусе куде 193-сантиметрового телескопа, пришлось бы приписать какой-нибудь ошибке, так как ничего подобного не было на предыдущих и последующих спектрограммах этой звезды. Но в 1964 г. калиевая вспышка была замечена в спектре другой звезды — карлика типа K7V — HD 88230. Тогда начались уже систематические поиски новых случаев загадочного явления, на этот раз при помощи спектрографа, установленного в ньютоновском фокусе 120-сантиметрового рефлектора. Поиски оказались безуспешными, и странное открытие, возможно, было бы забыто, если бы в 1965 г. спектрограмма, полученная в фокусе куде, не показала калиевую вспышку у звезды 4Нег класса B9e.

Каким образом мог появиться калий в нейтральном состоянии у звезды, температура поверхности которой превышает  $12\,000^\circ\text{K}$ ? Ведь при такой температуре атомы калия ионизируются и нейтрального калия быть не может. Исследуя все эти три случая, французские ученые отметили следующие закономерности: 1 — несмотря на многократные наблюдения этих трех звезд, не было отмечено ни одной новой калиевой вспышки; 2 — за исключением линий калия спектрограммы со вспышкой ничем не отличались от других спектрограмм тех же звезд; 3 — в двух случаях из трех пластинки, полученные до и после вспышки, показали, что она длилась не более 95 часов (а за такое время химический состав атмосферы звезды не мог заметно измениться); 4 — эмиссионные линии калия весьма сильные и широкие.

Однако все это не давало возможности даже предположить, какова астрофизическая причина появления таких вспышек. Если бы калиевые линии и имели звездное происхождение, доказать это было бы крайне трудно, поскольку они перекрываются линиями атмосферного азота и кислорода.

Проблема калиевых вспышек заинтересовала американских астрономов Р. Ф. Винга, М. Пеймберта и Х. Спинрада (Беркли, Калифорния). Они пронаблюдали 162 ярких звезды при помощи узкополосного фотоэлектрического спектрофотометра, установленного в главном фокусе 92-сантиметрового Кросслеевского рефлектора Ликской обсерватории. Калиевых вспышек они не обнаружили. И все же, проведя некоторые другие эксперименты, американские астрономы предложили свое объяснение этого явления. Они пришли к выводу, что подобные полосы в спектрах могут быть вызваны зажженной вблизи инструмента спичкой. Исследования спектров спичек в фокусе куде спектрографом Ликского 3-метрового телескопа показали, что если в помещении, в которое выведен фокус куде, зажечь спичку, то на спектрограммах звезд получают яркие линии калия. Дополнительные исследования в Верхнем Провансе не обнаружили различия между французскими и американскими спичками.

Казалось бы, устройство французского спектрографа таково, что в щель может попасть свет лишь от источника, расположенного на оптической оси. Однако при определенных положениях гидрирующего приспособления (представляющего собой стеклянную пластинку) в щель, отражаясь от стекла, попадает и боковой свет. Калифорнийские астрономы заключили: «Хотя наш вывод не безупречен (одна пластинка с калиевой вспышкой получена наблюдателем, который не курит), мы считаем, что спичечная гипотеза представляет собой простое и наиболее вероятное объяснение этих спектроскопических наблюдений»<sup>1</sup>.

М. Ю. Волянская  
Одесса

<sup>1</sup> «Publications of the Astronomical Society of the Pacific», v. 79, 1967, № 469.

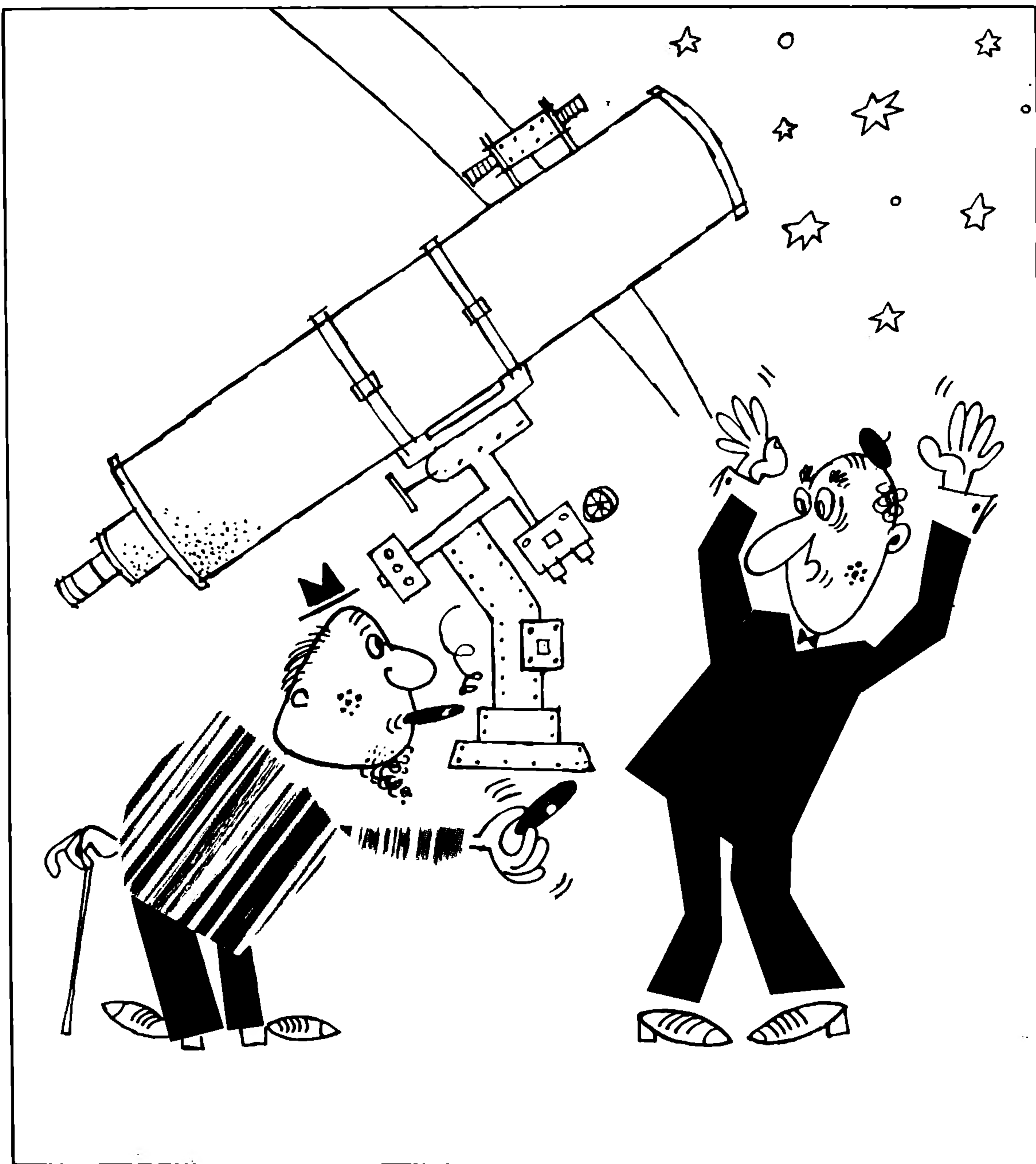


Рисунок Ю. Орловского

**Цена 50 коп.**

**Индекс 70707**

**Издательство**



**„Наука“**